



ÖZEL SAYI/SPECIAL ISSUE 28
KASIM/NOVEMBER 2021

EUROPEAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi



E-ISSN 2148-2683

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat>

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Editor-in-Chief and Editor

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Editor

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Editor

Editorial Board Members

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Prof. Dr. Tuncay GÜMÜŞ
Subjects: Food Sciences and Engineering
Institution: Namık Kemal University

Prof. Dr. Hüseyin TOROS
Subjects: Engineering
Institution: Istanbul Technical University

Assoc. Prof. Dr. Juliana JALALUDIN
Subjects: Air Pollution and Control, Environmental Sciences
and Engineering
Institution: Universiti Putra Malaysia, Faculty of Medicine
and Health Sciences, Department of Environmental and
Occupational Health

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Subjects: Environmental Sciences and
Engineering, Geological Sciences and Engineering, Civil
Engineering
Institution: Yildiz Technical University

Asst. Prof. Dr. Abdulatef AHHMED
Subjects: Meat Technology
Institution: Aljfarah University

Prof. Dr. Osman TAYLAN
Subjects: Energy Systems Engineering, Machine
Learning, Quality Management, Artificial
Intelligence, Multiple Criteria Decision Making, Fuzzy Logic
Institution: Department of Industrial Engineering, Faculty of
Engineering, King Abdulaziz University.

Prof. Dr. İskender AKKURT
Subjects: Physics, Computer Sciences and Engineering
Institution: Suleyman Demirel University

The European Journal of Science and Technology (EJOSAT) is a scientific and peer-reviewed journal published online four times in January, April, August, and November. The European Journal of Science and Technology is scanned in indexes such as TR Index, Scilit, Index Copernicus, CiteFactor, International Innovative Journal Impact Factor, Eurasian Scientific Journal Index, SJIFactor, DRJI, Scientific Indexing Services and Google Scholar.



İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Endüstriyel Robot ve PLC Entegrasyonu ile Talaşlı İmalat Üretim İşleminin Gerçekleştirilmesi
Enes EFE, Muciz ÖZCAN, Hüseyin HAKLI
Sayfa: 1 - 10
- Yakınlık Yarı Halkalarının Bi İdealleri
Özlem TEKİN
Sayfa: 11 - 15
- 6005 ve 6082 Alüminyum Alaşımlarının Homojenizasyon ve Kimyasal Bileşimlerinin Soğuk Şekillendirmeye Etkisi
Havva DEMİRPOLAT, Seracettin AKDI, Bülent ALKAN
Sayfa: 16 - 20
- Metil Asetat Üretimi İçin Fe/SBA-15 Heterojen Katalizörlerin Sentezi ve Karakterizasyonu
Veli ŞİMŞEK
Sayfa: 21 - 28
- Giyisi Termal Konforunun Üç Boyutlu Simülasyonlarda Sanallaştırılması
Sertaç GÜNEY
Sayfa: 29 - 33
- Giyisi Endüstrisinde Üretim Performansının Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması
Cengiz SERTKAYA, Samet AKÇAY
Sayfa: 34 - 39
- Kernelized Bayesian Matris Faktörizasyonu ile mikroRNA-Hastalık İlişkilerinin Tanımlanması ve Analizi
Ahmet TOPRAK, Esmâ ERYILMAZ DOĞAN
Sayfa: 40 - 45
- Hidroksiapatit ile Biyo-fonksiyonelleştirilmiş Titanyum-esaslı Yapı İskelelerinin Toz Metalurjisi Tekniği ile Üretimindeki Zorluklar
Mehmet TOPUZ, Burak DİKİCİ, Mehmet GAVGALI
Sayfa: 46 - 51
- Foeniculum Vulgare Mill'in Uçucu Yağı ile Biyolojik Kontrol
Hamada DJAMİLA, Roumeissa BEKRI, Aicha MEDJAHID, Romaisa KAMACI, Hakim BELKHALFA, Nasrine SALHI, Segni LADJEL
Sayfa: 52 - 55
- Güç Sistemlerinde Hat Kopmasının Sebep Olduğu Gerilim Kararlılığındaki Bozucu Etkinin İncelenmesi ve Sistem Kararlılık Seviyesinin İyileştirilmesi
Umut Emre UZUN, Nihat PAMUK, Sezai TASKIN
Sayfa: 56 - 62
- COVID-19 Pandemisinde Tıbbi Atıklar için Yer Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesi
Mehmet Ali TAŞ
Sayfa: 63 - 69
- Farklı Pişirme Tekniklerinin Bazı Geleneksel Fırın Ürünlerinin Duyusal Kalitelerini Geliştirmede ve Besin Kayıplarını Azaltmada Kullanılabilirlikleri Üzerine Bir Araştırma
Hüsnü KASAR, Suleyman GÖKMEN, Abdullah ÇAĞLAR
Sayfa: 70 - 74
- Çelik Bilyelerden Oluşturulmuş Spiral Paket Yataklarda Akış Rejimleri
Mustafa Yasin GÖKASLAN, Mustafa ÖZDEMİR, Lütfullah KUDDUSİ
Sayfa: 75 - 83
- Sıcak Pres-Prepreg Yöntemi ile Üretilmiş Aramit Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi
Ertan KÖSEDAĞ, Recep EKİCİ
Sayfa: 84 - 90
- Deprem Yönetmeliği Esaslarına Göre Ön Tasarımı Yapılan Betonarme Binaların Yapısal Davranışı Üzerine Bir Çalışma
Hakan DİLMAÇ
Sayfa: 91 - 96

- Kompresör ve Türbin Palelerinin Fikstür Tasarımlarının Parametrik Analiz ve Sonlu Eleman Simülasyonları ile İncelenmesi*
Özgür POYRAZ, Nurullah YANDI
Sayfa: 97 - 105
- COVID-19 Pandemisi Sırasında Teknoloji ve Hizmetlerin Öğrenme Sistemlerine Etkisi*
Arifullah ULLAH, Özlem BATUR DİNLER, Canan BATUR ŞAHİN
Sayfa: 106 - 114
- Geçmişten Günümüze Kablosuz Mobil İletişim Teknolojileri*
Ramazan AKKURT
Sayfa: 115 - 119
- Çok Modlu Tahrik Şemalarının Kullanıldığı Dinamik Akustik Kuvvet Ölçümünde Eğilme Özmodlarındaki Genlik Tepkileri*
Çağrı YILMAZ, Eyüp Sabri TOPAL
Sayfa: 120 - 125
- Plastik Enjeksiyon Tezgâhlarında Vida Kırılmasının Akustik Emisyon Yöntemi ile Tespit Edilmesi*
Halil KILIÇ, Mustafa TİMUR
Sayfa: 126 - 129
- Havacılık Uygulamaları için Sahada Programlanabilir Kapı Dizilerini Kullanarak İzleme Araştırması*
Ferhat YÜKSEL, Ufuk SAKARYA
Sayfa: 130 - 134
- Bezier Eğrilerinin Möbius Eğriliği*
Filiz ERTEM KAYA
Sayfa: 135 - 139
- Analysis of Wien Bridge Oscillator Designed Using BJT and Memristor with Different Window Functions*
İshak PARLAR, M. Nuri ALMALI, Ali Can ÇABUKER
Sayfa: 140 - 143
- Nikel-Metal Hidrit ve Lityum-iyon Piller Arasındaki Empedans Spektroskopisinin Karşılaştırmalı Çalışması*
Salim EROL
Sayfa: 144 - 151
- İnsansız Hava Araçlarının Seyrüsefer Uygulamaları İçin Sahada Programlanabilir Kapı Dizisinde Kalman Filtresi Gerçekleştirilmesi*
Metin Mert DENİZ, Ufuk SAKARYA
Sayfa: 152 - 156
- Sanal Gerçeklik Teknolojisi Kullanılarak Anakart Bileşenlerinin Tanıtılması*
Hanife BOYDAK, Fatma Nur CANOĞLU, Ayşe KAYHAN, Fatih BASÇİFTÇİ
Sayfa: 157 - 163
- Örgütsel Adalet Algısı ve Mobbingin İş Tatmini ve İşten Ayrılma Niyetine Etkisinin İncelenmesi*
Muhammet KAHRIMAN, Selen AVCI, Zerrin ALADAĞ
Sayfa: 162 - 171
- MSI Afterburner ile GTA 5 Oyununun Performans Testi*
Fatma Nur CANOĞLU, Mahmut Melikşah DOĞAN, Mehmet ÖZEL, Oğuzhan ŞENGÜLER, Fatih BASÇİFTÇİ
Sayfa: 172 - 177
- IACS Üyesi Klas Kuruluşlarının Su Altı Aracı Manevrası Alanına İlişkin Kurallarının Karşılaştırılması*
Oğuzhan KIRIKBAŞ, Şakir BAL, Mehmet Ali BAYKAL
Sayfa: 178 - 183
- Yüksek Performanslı Lityum İyon Bataryaları İçin Selüloz Hibrit Ayırıcılar*
Meltem YANILMAZ
Sayfa: 184 - 187
- Hibrit kompozit laminatın lif yöneliminin doğal frekans üzerinde etkisinin sayısal bir araştırması*
Engin ERBAYRAK
Sayfa: 188 - 191

Yüz İfadesini Algılayarak Kullanıcının Ruh Haline Göre İçerik Öneren Mobil Uygulama

İsmail GÜNDÜZ, Özgün YILMAZ

Sayfa: 192 - 197

Karbon Nanotüp ve Nanokil Takviyesinin Epoksi Karbon Kumaş Kompozit Boruların Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Bülent KARAOĞLU, Hüseyin ARIKAN, Mehmet KAYRICI

Sayfa: 198 - 206

Teknisyen Rotalama ve Çizelgeleme Probleminde Günlük Görev Kısıtlamasının İncelenmesi

Engin PEKEL

Sayfa: 207 - 212

Windows Tabanlı Uygulamalarda SQL Enjeksiyon Siber Saldırı Senaryosu ve Güvenlik Önlemleri

İsa AVCI, Murat KOCA, Merve ATASOY

Sayfa: 213 - 219

Görme Engelli Bireyler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Modeli

İsa AVCI, Mehmet YILDIRIM

Sayfa: 220 - 227

Yeni Gelişmeler ve Sektörlerin Yeni Trendlerine İlişkin Endüstri 4.0 Yaklaşımı

Ayşenur ERDİL

Sayfa: 228 - 240

σ -Bezier Eğrilerinin Gauss-Bonnet Teoreminin Hesaplanması

Filiz ERTEM KAYA

Sayfa: 241 - 245

Güvenlik ve Mahremiyet Tabanlı NFC Tasarımı

Faruk ÖZKAN, Ömer AYDIN

Sayfa: 246 - 250

Fonksiyonel Gıda Bileşenlerinin Tespit Edilmesinde Enstrümental Analiz Tekniklerinin Önemi

Pınar ANKARALIGİL, Buket GÜNEŞER

Sayfa: 251 - 258

Nanopartiküllerde viskozitenin ısı transferine etkisi

Khandan ROSHANAELI, Edip TAŞKESEN, Mehmet ÖZKAYMAK

Sayfa: 259 - 262

Karbazol Esaslı Polimerlerin Bazı İyon Seçici ve Su İtici Özelliklerinin İncelenmesi

Aysel AYDINKOCAEREN

Sayfa: 263 - 269

Bazı Mikromorfolojik Yapılarda Geometrik Modellemeler

Ali ÖZDEMİR, Canan ÖZDEMİR

Sayfa: 270 - 274

Su Dağıtım Sisteminde Yük Kaybını Hesaplamak İçin Hidrolik Modeller: Konya'da bir örnek çalışma

Kağan ERYÜRÜK

Sayfa: 275 - 279

Parçacık ve Gama Işını Dedektörlerini Kullanarak Bir Reaksiyonu Analiz Etmenin Farklı Bir Yöntemi

İlker Can ÇELİK

Sayfa: 280 - 284

Covell ve Toplam Pik Alanı Methodlarıyla Gama Işınlarının Analizleri Yapılırken ROOT Uygulamasının Kullanımı

İlker Can ÇELİK

Sayfa: 285 - 289

Sıvılaşma Tahmininde Özyinelemeli Özellik Seçmeye Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Değerlendirilmesi

Selçuk DEMİR, Emrehan Kutluğ ŞAHİN

Sayfa: 290 - 294

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Fotogrametrik Nokta bulutunun Görünürlük Analizinde Kullanımı: Gümüşhane Seyir Terası Yer Seçimi
Mehmet Akif GÜNEN
Sayfa: 295 - 299
- Yapay Yaşlandırma ve Soğutma Hızının AA6082'nin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi
Mehmet ŞAHBAZ
Sayfa: 300 - 305
- Modifiye MWCNT/CuO Nanokompozitlerinin Optik Özellikleri ve Elektriksel İletkenlikleri Üzerine Non-iyonik Sürfektanın Etkisi
Filiz BORAN
Sayfa: 306 - 311
- Trafik Sinyalizasyon Sisteminde Akıllı Kavşak Kontrolü
Nihat PAMUK
Sayfa: 312 - 319
- A New Public-Key Cryptosystem Based on LCD Codes
Selda ÇALKAVUR
Sayfa: 320 - 324
- Jeotermal Suların Uygulama Alanları ve Çevresel Problemler
Saadet ACAR, Hasan KÖSEOĞLU
Sayfa: 325 - 332
- Solunum Hastalıkları ile İlişkili Semptom Seslerinin Sınıflandırılması
Mesut MELEK
Sayfa: 333 - 337
- Kademeli Lif Takviyeli Kompozit Beton Kirişlerin Eğilme Davranışı
Abdullah MÜSEVİTOĞLU, Atilla ÖZÜTOK, Serkan SALKIM, Oğuzhan ÇAĞLAR, Gökalp KIRCA, Kadirhan ERTÜRK, Mesut ACAR
Sayfa: 338 - 345
- Destek Vektör Makineleri ve Gauss Süreçleri Kullanılarak Sınırlı İklim Değişkenlerinden Referans Evapotranspirasyon Tahmini
Yasser ZOUZOU, Hatice ÇITAKOĞLU
Sayfa: 346 - 351
- [n] Kümesinin Ardışık Üç Tam Sayı İçermeyen Alt Kümelerinin Sayısı
Barış ARSLAN, Kemal USLU
Sayfa: 352 - 356
- Gömülü Sistem Tabanlı Lenssiz Mikroskopi Sisteminin Geliştirilmesi ve Patolojik Örnekler Üzerinde Test Edilmesi
Muhammed Ali PALA, Mustafa Zahid YILDIZ
Sayfa: 357 - 361
- Kent Parklarında Kullanıcı Tercihlerinin Değerlendirilmesi "Kyoto Japon Parkı ve Kalehan-Ecdat Parkı" Örneği
Sertaç GÜNGÖR, Mine ÇAKIN
Sayfa: 362 - 367
- Bir yumurta kuluçka makinesinin kontrolüne adanmış tam otomatik bir sistemin tasarımı ve uygulanması
Oussama HADOUNE, Mohamed BENOURET, Mohamed Fouad GUELLATI
Sayfa: 368 - 374
- PID denetleyicisi ve çift döngülü geri bildirim şemasına sahip Öncü/Gecikme dengeleyici kullanılarak bir plaka sistemi üzerinde bir topun izleme kontrolü
Oussama HADOUNE, Mohamed BENOURET, Abdennour ZEGHIDA, Hichem SAKER
Sayfa: 375 - 380
- Kontrol Teorisinde Sık Kullanılan Bazı Fonksiyonların Kesirli Dereceden Çeşitli Türevlerinin Farklı Yöntemlere Göre Hata Değerlendirilmesi
Mehmet KORKMAZ
Sayfa: 381 - 385

Sürekli Uzayda Tesis Yeri Seçimi İçin Matematiksel Model: p-Medyan Problemi

Melike Kübra EKİZ, Selen AVCI, Celal ÖZKALE

Sayfa: 386 - 390

± 150 hPa Gas Ortamda Laboratuvarlararası Basınç Karşılaştırması

Yasin DURGUT, Recep YILMAZ, Abdullah HAMARAT

Sayfa: 391 - 394

IoT Tabanlı ve Makine Öğrenmesine Dayalı Seçici Sulama Sistemi

Harun DOLCEL, Mahmut DURGUN, Levent GÖKREM

Sayfa: 395 - 401

Laboratuvarlararası Karşılaştırmalar ve Akreditasyondaki Roller

Yasin DURGUT

Sayfa: 402 - 406

Kafes Yapılarıyla Pekiştirilmiş Kompozit Plakanın Serbest Titreşim Analizi

Serkan GÜLER

Sayfa: 407 - 410

Nesnelerin İnterneti İle Hız Uyumlu Yeşil Dalga Koridoru

Özgür KART, Osman Çağrı GENÇ, Fatih BASCIFTÇİ

Sayfa: 411 - 416

Risk Faktörlerinin Dağıtık Yazılım Ekip Yapısı Kapsamında İncelenmesi

Canan BATUR ŞAHİN, Özlem BATUR DİNLER, Laith ABUALİGAH

Sayfa: 417 - 424

Kimlik Hırsız Web Sitelerinin Farklı DeepLearning4J Modelleri ile Performanslarının Karşılaştırılması

Özlem BATUR DİNLER, Canan BATUR ŞAHİN, Laith ABUALİGAH

Sayfa: 425 - 431

Farklı Orana Sahip PET Atıklarının Çimento Harçlarının Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerine Etkisi

Arin YILMAZ

Sayfa: 432 - 436

Ölçülen Yapraklanmaların Genelleştirilmiş Dynnikov Koordinat Sistemi

Alev MERAL

Sayfa: 437 - 440

Gıda Sisteminde Geleceğin Trendi Doğal Koruyucular: Esansiyel Yağ

Gülden GÖKŞEN, Pınar GÜMÜŞ

Sayfa: 441 - 443

Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistemler için Güç Tahsisi Algoritmaları

Osman DİKMEN, Selman KULAC

Sayfa: 444 - 452

Kullanıcı Tabanlı ve Öğe Tabanlı İşbirlikçi Filtreleme ile Kümeleme Algoritmalarının Değerlendirilmesi

Mustafa Özgür CİNGİZ, Kadriye MARANGOZ

Sayfa: 453 - 458

Naive Bayes Algoritmasının AdaBoost Topluluk Öğrenme Modeli ile Sosyal Medyada Sahte ve Gerçek Haberlerinin Ayırt Edilmesi

Mehmet BOZUYLA

Sayfa: 459 - 462

Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Kümes Ortamına Uygulanması ve Etkileri

Yeliz DURGUN

Sayfa: 463 - 468

Farklı Arka Yüzey Konfigürasyonları İçin Ahmed Gövdesinin Aerodinamik Özelliklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Cafer KAMACI, Kenan KAYA

Sayfa: 469 - 475

- Bir Mobilya İşletmesinde Kurumsal Kaynak Planlaması için İş Etüdü-Verimlilik Uygulamasının Analizi: Örnek Olay*
Ercan ŞENYİÇİT, Seher KARAKAŞ, Sümeyye UÇAR, Seda AKBAL
Sayfa: 476 - 480
- IoT Sistemlerde Sınır Bilişim Destekli Anomali Tespiti*
Mert KIŞLAKÇI, Mahmut DURGUN
Sayfa: 481 - 488
- Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Orta Dönem Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini: İskenderun Örneği*
Merve ERKINAY ÖZDEMİR
Sayfa: 489 - 492
- Son İşlem Algoritmaları İçin Web Tabanlı Yazılım Suiti Geliştirilmesi*
Didem YOSUNLU, Erdiç AVAROĞLU
Sayfa: 493 - 499
- Erzurum Ovasındaki Tarım Arazilerinin Amaç Dışı Kullanımındaki Eğilimler*
Müdahir ÖZGÜL, Emre ÇOMAKLI
Sayfa: 500 - 505
- Gelişmiş Uyarlanabilir Pencereleme Tekniği ile bir Krank-Biyel Mekanizmasının Gerçek Zamanlı İvme Tahminlemesi*
Ergin KILIÇ
Sayfa: 506 - 510
- Dış Duvarının Yarı Akustik Yutucu Malzeme ile Kaplı Rijit Koaksiyel Bir Boruda Akustik Dalgaların Yayılımının Mod-Uydurma ile Analizi*
Hülya ÖZTÜRK
Sayfa: 511 - 514
- Kademeli Gözenekli Doku İskelelerin Mekanik Davranışının Sonlu Eleman Analizi ile Tahmin Edilmesi*
Meltem ERYILDIZ
Sayfa: 515 - 518
- Polimer-Polimer Karışabilirliğinin Guguk Kuşu Arama Algoritmasına Dayalı Ağırlıklı Bulanık Sınıflandırma Sistemiyle Tahmini*
Gözde GÜLDİKEN, Mehmet Levent KOÇ, Dilek İMREN KOÇ
Sayfa: 519 - 525
- Çalışanların Çevrimiçi Değerlendirmelerinin İş Tatmini Faktörlerini Belirlemeye ve Analiz Etmeye Yönelik Olarak Makine Öğrenmesine Dayalı Analizi*
Ali ÖZDEMİR, Aytuğ ONAN, Vildan ÇINARLI ERGENE
Sayfa: 526 - 530
- İş Tatmini Faktörlerini Belirlemeye Ve Analiz Etmeye Yönelik Olarak Çalışanların Çevrimiçi Değerlendirmelerinin Sınıflandırıcı Topluluklarına Dayalı Analizi*
Ali ÖZDEMİR, Aytuğ ONAN, Vildan ÇINARLI ERGENE
Sayfa: 531 - 538
- Sensör Tabanlı DDQN Modeline Ödül Fonksiyonu Belirleme*
Mehmet Gökçay KABATAŞ, Sevinç İLHAN OMURCA
Sayfa: 539 - 544
- Sonsuz Modellerde Türetme Problemini Çözme Uygulaması*
Mehmet KURUCAN, Mete ÖZBALAN
Sayfa: 545 - 547
- TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Güneş Enerjisi Sistemlerinde Panel Seçimi*
Fulya ASLAY
Sayfa: 548 - 551
- [n] Kümesinin Ardışık Üç Çift Tam Sayı İçermeyen Alt Kümelerinin Sayısı*
Barış ARSLAN, Kemal USLU
Sayfa: 552 - 556
- Atık Taşıma Yolu Olarak Kanalların Uygunluk Analizi (Endonezya'daki Makassar Şehri Örneği)*
Muhammad IRFAN, Ramdan PANO
Sayfa: 557 - 561

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Göğüs röntgenlerinde pnömoniye tespit etmek için derin öğrenme yaklaşımı
Muhammet Emin ŞAHİN, Hasan ULUTAŞ, Esra YÜCE
Sayfa: 562 - 567
- Dalgacık Dönüşümleri Amalgam Uzaylarında Olan Fonksiyon Uzayları için Kompakt Gömülme Teoremleri
Öznur KULAK
Sayfa: 568 - 572
- SIQRV Modeli ve Nümerik Uygulaması
Zafer ÖZTÜRK, Sezer SORGUN, Halis BİLGİL
Sayfa: 573 - 578
- Plantar Basınç Dağılımı Sinyalleri Kullanılarak Erken MS'lilerde Ataksinin Hybrt CNN Modelleri ile Belirlenmesi
Aslı SESLİ, Seda ARSLAN TUNCER, Furkan BİLEK
Sayfa: 579 - 583
- Emülsiyon Üretimindeki Ekstrüzyon Uygulamasının Sıcaklık Kontrollü Ultrasonikasyon ile Değiştirilmesi
Mehmet Hikmet ÜÇİŞİK
Sayfa: 584 - 589
- Güçlü \oplus -Yerel Artin Tümlenmiş Modüller
Burcu NİŞANCI TÜRKMEN
Sayfa: 590 - 593
- Toplu Taşımada Yatırım Kararlarının Veri Madenciliği Yöntemiyle Desteklenmesi
Nur ERDEM, Özlem UZUN ARAZ
Sayfa: 594 - 601
- Kare Kesitteki Helisel Tellerin Kenar Uzunluğunun Isı Transferi ve Basınç Düşümüne Etkisinin Sayısal İncelenmesi
Taha Tuna GÖKSU, Rasim BEHCET
Sayfa: 602 - 606
- HSL Renk Uzayında Görüntü İşleme ve Morfolojik İşlemler Kullanarak Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti ve Sınıflandırması
Doğucan YAĞMUR, Gökhan ATALI
Sayfa: 607 - 613
- Isı Transferiyle Çalışan Anemometre Sistemleri
Burak TÜRÜDÜ
Sayfa: 614 - 617
- WIM Sistemlerinin Karşılaştırılması
Nuri BAŞAR
Sayfa: 618 - 621
- Tork Sensöründe Kullanılan Teknolojiler
Hamza IŞIK
Sayfa: 622 - 626
- Akıllı Kalite Kontrol Kameraları ve Karşılaştırılması
Emre DEMİRKIRAN
Sayfa: 627 - 629
- Makine Öğrenmesi Algoritmalarıyla Akciğer Tomografi Görüntülerinden COVID-19 Tespiti
Özgür KART, Fatih BASCIFTCI
Sayfa: 630 - 637
- Su Dağıtım Şebekeleri Tasarımının Evrimsel Optimizasyon Teknikleriyle Çözümü
Büşra Seval DOĞAN, Tahir SAG
Sayfa: 638 - 642
- Türbülanslı Akış Durumunda Isı Kuyusunun İğne Kanatçığının Adım Oranının ve Köşegen Uzunluğunun Konvektif Isı Transferine Etkisi
Noora İmad Haseeb ALGBURI, Hayati Kadir PAZARLIOĞLU, Kamil ARSLAN
Sayfa: 643 - 652

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- DA/DA Alçaltıcı Tip Dönüştürücü Devresinin TS-EN 61000-3-2 Standardına Uyumlu Hale Getirilmesi*
Ayşenur ÖZER, Ersoy KELEBEKLER
Sayfa: 653 - 659
- Z₈+uZ₈+vZ₈ Üzerinde Aykırı Devirli Kodlar İçin Bazı Sonuçlar*
Basri ÇALIŞKAN
Sayfa: 660 - 664
- IoT, IoT Çekirdek Bileşenleri, IoT Katmanları ve Saldırı Türlerinin Derinlemesine İncelenmesi*
Muhammed YILDIRIM, Uğur DEMİROĞLU, Bilal ŞENOL
Sayfa: 665 - 669
- Çift Bantlı RF Enerji Hasadı İçin Toplu Eleman Devre Yapıları*
Filiz SARI
Sayfa: 670 - 674
- Kare Kutu İçinde Fe₃O₄/Su'yun Doğal Konveksiyona Etkisi*
Hayati Kadir PAZARLIOĞLU, Mutlu TEKİR
Sayfa: 675 - 683
- 3D Kısmi Deşarj Sinyal Grafikleri ile Yüksek Gerilim Ekipmanlarının Dielektrik Analizi*
Tuba Nur SERTTAŞ, Fatih SERTTAŞ
Sayfa: 684 - 689
- Tıbbi Duyarlılık Tahmininde Topluluk Algoritmalarının ve Derin Öğrenme Transformatörlerinin Değerlendirilmesi*
Akın ÖZÇİFT, Mehmet BOZUYLA
Sayfa: 690 - 693
- Cilt Kanseri Sınıflandırması İçin Hibrit Evrişimli Sinir Ağı Mimarileri*
Emine CENGİL, Ahmet ÇINAR, Muhammed YILDIRIM
Sayfa: 694 - 701
- Nanopartikül Şeklinin ve Hacim Oranının Serpantin Mikrotüpünde Nanoakışkan Akışına Etkisi*
Fethi Murat ALTUNAY, Kamil ARSLAN
Sayfa: 702 - 709
- Doğrusal Olmayan Analiz ve Makine Öğrenimi Kullanılarak Öksürük Seslerinden COVID-19'un Tanımlanması*
Fatma Zehra SOLAK
Sayfa: 710 - 716
- Otonom bir PV Sistemindeki Kurşun Asitli Piller İçin Solar Şarj Cihazı*
Ersagun Kürşat YAYLACI
Sayfa: 717 - 721
- Hibrit UPS'lerin Sağladığı Bazı İmkanların Deneysel Olarak İncelenmesi*
İbrahim GÜNEŞ, Osman OKAY, Emre AKARSLAN
Sayfa: 722 - 726
- Gradyan Tabanlı Optimize Edici Algoritmasının Parametre Ayarlaması*
Mehmet BEŞKİRLİ, Mehmet Fatih TEFEK
Sayfa: 727 - 742
- Development and Simulation of 39 DOF Vehicle Model*
Adem TUNÇDAMAR
Sayfa: 743 - 752
- Yapay Zeka'nın Kültür ve Sanatla Olan İlişkisi*
Yusuf UZUN, Beyzanur AKKUZU, Mehmet KAYRICI
Sayfa: 753 - 757
- Alüminyum Atıktan Üretilmiş Si₃N₄ Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*
Burak ÖZTOP, Mevlüt GÜRBÜZ
Sayfa: 758 - 765
- SimMechanics ile Esnek Bir Yapının Modellenmesi ve Titreşim Sönümlenmesi*
Mehmet UYAR
Sayfa: 766 - 770

Optogenetik Modelleşme için Hızlı Gradyan Kontrol Algoritması

Sergey BORİSENOK

Sayfa: 771 - 774

Kanat Gövde Tipindeki Bir İnsansız Hava Aracının Yapısal Tasarımı ve Analizi

Aybuke Gökçen YILMAZ İLASLAN, İlyas KANDEMİR

Sayfa: 775 - 780

Kayma Altında Katılaşan Sıvıların Reolojik Özelliklerinin ve Dispersiyon Kalitesinin Belirlenmesi

Cenk YANEN, Murat Yavuz SOLMAZ, Ercan AYDOĞMUŞ

Sayfa: 781 - 784

Seçici Lazer Sinterleme Tabanlı 3D Yazıcının Tasarımı

Fatma Nazlı ÖZSOLAK, Bülent KAYA

Sayfa: 785 - 789

Deneysel Olarak Ölçülen Farklı Sürüş Davranışlarının K En Yakın Komşuluklar Yöntemleriyle Sınıflandırılması

Tuba Nur SERTTAŞ, Fatih SERTTAŞ

Sayfa: 790 - 794

Ibuprofenin ileri oksidasyon prosesleri ile gideriminin yaşam döngüsü değerlendirmesi

Sevde USTUN ODABASI

Sayfa: 795 - 801

Aralık-Değerli Neutrosophic Kümeler Üzerinde Bazı Kavramlar

Yıldıray ÇELİK

Sayfa: 802 - 805

Şebekeden Bağımsız Tarım Arazisinin Sulama Enerjisi İhtiyacının Batarya Depolamalı Güneş - Rüzgar Enerji Sistemi ile Karşılanması

Ahmet Erhan AKAN, Aytac Perihan AKAN

Sayfa: 806 - 810

Jiroskop ve İvme Ölçer Verileriyle Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İnsan Aktivitesi Tanımlama

Cem ÖZKAYA, Mustafa Yasin ESAS

Sayfa: 811 - 818

Ultrases ve Kaplama Ön İşlemlerinin Infrared Kurutulmuş Ayva Numunelerinde Kuruma Verimi ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi

Tansu YILDIRIM, Oya SİPAHIOĞLU

Sayfa: 819 - 825

İki Zeytin Değirmeni Yan Ürününün Fenolik Ekstraktlarının Antikoagülan Etkisinin Değerlendirilmesi: Zeytin Değirmeni Atıksu ve Zeytin Değirmeni Pirina

Zakia GUEBOUDJI, Kenza KADI, Kamel NAGAZ

Sayfa: 826 - 830

Sulandırılmış Kum Kabuk Karışımının Mukavemet ve Genleşme Davranışı

Suleiman KHATRUSH

Sayfa: 831 - 836

Yatırım Çekiciliğinin Temeli Olarak Ukrayna'nın L'viv Bölgesindeki Toprakların Ekolojik ve Zirai Kimyasal Durumu

Andriy KYRYLCHUK, Zinoviy PANKİV, Anatoliy DEMCHYSHYN

Sayfa: 837 - 842

Parkinson Hastalarının Dikkat Fonksiyonlarının Cinsiyet Açısından Değerlendirilmesi: Bir fMRC Çalışması

Nur YILMAZ, Güzin ÖZMEN

Sayfa: 843 - 848

Geleneksel Fermente Sucuklardan İzole Edilen Laktik Asit Bakterilerindeki Postbiyotik ve Paraprobiyotiklerin Antioksidan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Betül AYDIN, Tuğçe ÇİYDEM, Esra KAYA, Leyla AÇIK

Sayfa: 849 - 852

- HTEA Tabanlı KEMIRA-M Yöntemi ile Sağlık Sektöründe Risk Değerlendirme
Nuray ARSLAN, Elif KILIÇ DELİCE
Sayfa: 853 - 862
- Bulanık FUCOM Metodu ile Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi
Merve Ceren TAŞKENT, Elif KILIÇ DELİCE
Sayfa: 863 - 868
- Atık Polistiren Matrisli Aerojel Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu
Amin FIYOUJ, Mevlüt GÜRBÜZ
Sayfa: 869 - 872
- Çarpan Hava Jetlerinde Farklı Parametrelerin Hız Sınır Tabakası Üzerindeki Etkisinin Simülasyonu
Burak TÜRKAN
Sayfa: 873 - 889
- Killi Zeminin Kayma Mukavemetine Cam Lifi ve Su İçeriğinin Etkisi
Mehmet Fatih YAZICI, Ahmetcan SUNGUR, Nilay KESKİN
Sayfa: 890 - 894
- Bazalt Lifi ile Güçlendirilmiş Killi Zeminin Mühendislik Özellikleri Üzerine Deneysel Araştırma
Ahmetcan SUNGUR, Mehmet Fatih YAZICI, Nilay KESKİN
Sayfa: 895 - 899
- Dairesel Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Metodolojisi
Esra ÇAKIR, Mehmet Ali TAŞ
Sayfa: 900 - 905
- Akıllı Tarım için LoRa tabanlı Meteorolojik İzleme Sisteminin Kavramsal Tasarımı
Hakkı SOY, Yusuf DILAY
Sayfa: 906 - 910
- Türkiye'de tüketime sunulan perakende balıklarda stafilokok ve enterokok varlığı ve özellikleri
Meryem Burcu KÜLAHCI, Neslihan GÜNDOĞAN
Sayfa: 911 - 916
- Bir Üretim İşletmesinde Simülasyon Yöntemi ile Darboğaz Analizi ve Sistem İyileştirmesi
Ege CİHANGİR, Fatma DEMİRCAN KESKİN, Ural Gökay ÇİÇEKLİ, Gökhan YAKAN
Sayfa: 917 - 923
- Gıda örneklerinden izole edilen Enterococcus türlerinin çeşitli virülans özellikleri, biyofilm oluşumu ve antibiyotik dirençliliklerinin belirlenmesi
Tuğçe GÜRKAN, Meryem Burcu KÜLAHCI, Sumru ÇITAK
Sayfa: 924 - 932
- PV Simülatörün Tasarımı ve Geliştirilmiş P&O Algoritmasıyla Değerlendirilmesi
Novruz MAMMADLI, Ersagun Kürşat YAYLACI, Mohammad AL MSALMA
Sayfa: 933 - 939
- Yöneylem Araştırması Alanında Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi
Özlem ÇOMAKLI SÖKMEN, Mustafa YILMAZ
Sayfa: 940 - 946
- Deniz Müsilajına İlişkin Literatürün Bibliyometrik Analizi
Taha Talip TÜRKİSTANLI, Coşkan SEVGİLİ, Ömer ARSLAN
Sayfa: 947 - 958
- Bazı Newtonyen Olmayan Superposition Operatörlerin *-Sürekliliği ve *-Düzgün Sürekliliği Üzerine
Fatmanur ERDOĞAN, Birsen SAĞIR DUYAR
Sayfa: 959 - 967
- Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 1, X Işını Difraksiyonu Analizi
Ömer LAÇİN, Bünyamin DÖNMEZ
Sayfa: 968 - 971
- Mikro Denetleyici Sistemler ile Türk İşaret Dili Kelime Çevirici
Fatih GÖKÇE, Hakan KEKÜL
Sayfa: 972 - 977

- Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 2, X Işını Fotoelektron Spektroskopisi Analizi*
Ömer LAÇİN, Bünyamin DÖNMEZ
Sayfa: 978 - 984
- Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım3, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi*
Ömer LAÇİN, Bünyamin DÖNMEZ
Sayfa: 985 - 989
- Çoklu Kaynak Gerektiren Parçalarda Kaynak Sırasının Genetik Algoritma Kullanılarak Belirlenmesi*
Onur YURDAKUL, Başar YAVUZ
Sayfa: 990 - 992
- Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 4, Raman Spektroskopisi Analizi*
Ömer LAÇİN, Bünyamin DÖNMEZ
Sayfa: 993 - 997
- Zemin Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Trendler*
Asena KARSLIOĞLU, Ahmet Ali MERT, Mehmet İnanç ONUR
Sayfa: 998 - 1007
- Yazılım Güvenlik Açığı Veri Tabanları*
Hakan KEKÜL, Burhan ERGEN, Halil ARSLAN
Sayfa: 1008 - 1012
- Taşkın Modelleme Yöntemlerinin Gözden Geçirilmesi ve Karşılaştırılması*
Vahdettin DEMİR, Neslihan BEDEN, Aslı ÜLKE KESKİN
Sayfa: 1013 - 1021
- Çok Ölçekli Eğrilik Sınıflandırmasının CUDA ile Hızlandırılması*
Mustafa OĞUZ, Sercan DEMİRCİ
Sayfa: 1022 - 1027
- Global Optimizasyon Problemleri için Kaotik Bonobo Algoritması*
Sümeyye BAZNA, Sinem AKYOL
Sayfa: 1028 - 1038
- Ağaçören/Aksaray Bölgesindeki Jeolojik Yapıların Jeofizik (Manyetik) Yorumu*
Ezgi ERBEK KIRAN, M. Nuri DOLMAZ
Sayfa: 1039 - 1043
- Trafik Sinyalizasyon Sistemi için Bulanık Mantık Kontrol Otomasyonu*
Ecem ACAR, Sevilay KIRCI SERENBAY
Sayfa: 1044 - 1047
- (p,q)-Poisson Dağılım Serisi İçeren Harmonik Yalınkat Fonksiyonlar Üzerine*
Sibel YALCIN, Hasan BAYRAM
Sayfa: 1048 - 1051
- Orijinal Evaporatör Tasarımının DX-SAHP Sistem Performansına Etkisinin Belirlenmesi Üzerine Sayısal Bir Çalışma*
Ridvan YAKUT
Sayfa: 1052 - 1055
- Türkçe Metinlerde Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Duygu Analizi Problemi Üzerindeki Performansının Kıyaslanması*
Ayşe Berna ALTINEL
Sayfa: 1056 - 1061
- Çoklu Bölmeli Kare Tankta Su Çalkalanmasının Sayısal Araştırması*
Ferhat KOCA, Mustafa ZABUN
Sayfa: 1062 - 1070
- Baskınlık Sayısı 2 ve 3 Olan İki Parçalı Graflar Üzerine Bir Not*
Havva KIRGIZ, Ayşe Dilek MADEN
Sayfa: 1071 - 1076

- Eğrisel Yüzeyle Tabakalı Kompozit Plakların Kritik Burkulma Yüklerine Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi
Cenk YANEN, Murat Can TANIİ, Murat Yavuz SOLMAZ
Sayfa: 1077 - 1082
- Dynamic Optimal ANFIS Parameters Tuning with Particle Swarm Optimization
Mahmut DİRİK, Mehmet GÜL
Sayfa: 1083 - 1092
- Mermi Hareketinin Modellenmesinde Kullanılan Noble-Abel ve İdeal Gaz Denklemlerinin Akış Alanına Etkisinin Nümerik İncelenmesi
Seyda ÖZBEKTAŞ, Bilal SUNGUR
Sayfa: 1093 - 1101
- 904L Paslanmaz Çeliğe Düşük Sıcaklık Alüminyumlamasının Etkisi
Emre ÖKSÜZOĞLU, Kadir Mert DÖLEKER
Sayfa: 1102 - 1106
- Türkiye'de Kilise Yapılarının Korunması Üzerine Bir Araştırma: Yalova/Esenköy Azize Paraskevi Kilisesi Örneği
Tuba Nur OLĞUN
Sayfa: 1107 - 1111
- Makine Öğrenimi Algoritmaları Kullanarak Kalp Hastalıklarının Tespit Edilmesi
Mustafa COŞAR, Emre DENİZ
Sayfa: 1112 - 1116
- Makine Öğrenmesi İle Borsa Analizi
Mahmut Emir ARSLAN, Pınar KIRCI
Sayfa: 1117 - 1120
- Grafen Oksit Katkılı Kitosan/Hidroksipropil Metilselüloz Biyonanokompozit Film Sentezi ve Anti-Kanser İlacı 5-Fluorourasil'in Kontrollü Salımında Kullanımı
Mürüt AKAL, Muhammed Emre DEMİRDERE, Derya ÜNLÜ
Sayfa: 1121 - 1125
- Serbest Form Yüzeyle Sahip Parçaların Üretim Nedenli Hata Miktarlarının Robot Kol Yardımlı Lazer Sensör ile Tespiti
Abdulkadir ÇEBİ, Muhammed Turan ASLAN, Hasan DEMİRTAS
Sayfa: 1126 - 1132
- Farklı Ultrason Genlik Uygulamalarının Mısır Nişastası Jelleri Üzerindeki Etkisi
Gamze ÜÇÖK
Sayfa: 1133 - 1136
- Mullit Takviyeli CaO Katkılı ZrO₂ Seramiklerinin İmalatı ve Karakterizasyonu
Mehmet Akif HAFIZOĞLU, Ahmet AKKUŞ, Tahsin BOYRAZ
Sayfa: 1137 - 1143
- Design of Energy Management System Base on lithium-ion Battery
Yusuf Bello SALEH, Hasan KÜRÜM
Sayfa: 1144 - 1151
- Hiperbolik Değerli Dislocated Metrik Uzaylar
Nilay DEĞİRMEN
Sayfa: 1152 - 1158
- Sürtünme Karıştırma İşleminin Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen AlSi10Mg Alaşımının Tribolojik Özelliklerine Etkisi
Hüccet KAHRAMANZADE, Yaşar SERT, Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU
Sayfa: 1159 - 1166
- Yerden Gelen Tehditlerden Kaçmak Amacıyla Düşük Hızlı Bir Hava Platformunun Yapabileceği Başlıca Manevraların İncelenmesi
Bülent ÖZKAN
Sayfa: 1167 - 1171

Açı Komutu Esaslı Oransal Seyrüsefer Güdüm Kuralının Başarım Özelliklerinin İncelenmesi

Bülent ÖZKAN

Sayfa: 1172 - 1178

Kesikli Akım Elektrobiriktirme Yöntemiyle Üretilen Ni/W-Si₃N₄ Kompozitlerinin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerine Si₃N₄ Konsantrasyonunun Etkisi

Harun GÜL, Nuri ERGİN, Mehmet UYSAL

Sayfa: 1179 - 1184

Elektrik Akımı Destekli Sinterleme Yöntemi İle Üretilen Stellite 21 Süperalaşımının Sıcak Korozyon Özellikleri

Nuri ERGİN, Özkan ÖZDEMİR, Ahmet Yiğit ÖZER

Sayfa: 1185 - 1189

Koordinat Ölçme Makinesi Verilerinin Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler Uydurulmasında En Dik İniş-Doğru Boyunca Arama Şartı Kombinasyonlarının Performans Analizi

Kadir KIRAN

Sayfa: 1190 - 1196

Mullit Takviyeli MgO Katkılı ZrO₂ Seramiklerinin İmalatı ve Karakterizasyonu

Mehmet Akif HAFIZOĞLU, Tahsin BOYRAZ, Ahmet AKKUŞ

Sayfa: 1197 - 1203

Sac Malzeme Üretiminde Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Batuhan ÖZAKIN

Sayfa: 1204 - 1209

Kombine Derin Öğrenme Tabanlı Epileptik Nöbet Teşhisi

Muhammet VARLI, Hakan YILMAZ

Sayfa: 1210 - 1216

Cilt Kanseri Tanı Modellerinin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması

Emel SOYLU, Rukiye DEMİR

Sayfa: 1217 - 1221

Derin Öğrenme ve İstatistiksel Modelleme Yöntemiyle Sıcaklık Tahmini ve Karşılaştırılması

Aynur SEVİNÇ, Buket KAYA

Sayfa: 1222 - 1228

Android Tabanlı QR Kod Teknolojisi ile Desteklenen Envanter Takip Sisteminin Geliştirilmesi

Çağlar GÜRKAN, Merih PALANDÖKEN

Sayfa: 1229 - 1232

Kişisel Bilgiler ve Günlük Aktiviteler Gibi Tetikleyicilerin Migren Atağı Üzerindeki Etkilerinin Makine ve Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Analizi

Çağlar GÜRKAN, Sude KOZALIOĞLU, Merih PALANDÖKEN

Sayfa: 1233 - 1236

Farklı Ev Ortamlarında Havadaki Bakteri ve Mantarların Değerlendirilmesi

Seda Naz SARICA, Ayşe BODUR, Özlem ÖZDEN ÜZMEZ, Semra MALKOÇ

Sayfa: 1237 - 1245

Mobil Kontrol- Görüntü Aktarımı ve Lazer Savunma Gücüne Sahip Tank Robot Tasarımı

Burak KAPUSIZ, Yusuf UZUN

Sayfa: 1246 - 1253

Betonarme Bir Bina Örneğinde Hızlı Değerlendirme Yöntemi ile İnceleme

Şebnem METİN, Duygu ÖZTÜRK

Sayfa: 1254 - 1257

Emniyet Kilidi Üretim Hattının Simülasyon Kullanılarak İncelenmesi

Büşra BAKDAAL, Esra TEKEZ

Sayfa: 1258 - 1264

Tip 2 Diyabetin Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Sınıflandırılması

Ziynet PAMUK, Ceren KAYA

Sayfa: 1265 - 1268

- Birim Alan Başına Bentonit Kütlesinin Geosentetik Kil Örtülerin (GKÖ'ler) Hidrolik İletkenliği Üzerine Etkisi*
Fatih POLAT, Tuğçe ÖZDAMAR KUL, Ali Hakan ÖREN
Sayfa: 1269 - 1273
- Jetson Nano Üzerinde Gerçek Zamanlı Linux Çekirdeği Uygulanması*
Salih PALAMUT, Abdullah ELEWİ, Erdinç AVAROĞLU
Sayfa: 1274 - 1278
- Akıllı Tarımda Sensör Uygulaması*
Erdinç ÖZTÜRK, Yavuz ÇELİK, Pınar KIRCI
Sayfa: 1279 - 1282
- EHG sinyallerinden Erken Doğum Tespiti*
Ahmet SAĞLAM, Ümit ŞENTÜRK, İbrahim YÜCEDAĞ
Sayfa: 1283 - 1287
- The Curvature Property of a Linear Dynamical System*
Tuna BAYRAKDAR, Zahide OK BAYRAKDAR
Sayfa: 1288 - 1290
- Kültürel Mirasın Kullanıcı Merkezli Etkileşimli Deneyimi için Bütünsel Bir Uygulama: 3B Baskı, Artırılmış Gerçeklik ve Web Tabanlı Görselleştirme Kombinasyonu*
Ahmet USLU
Sayfa: 1291 - 1295
- COVID-19 Tespiti için Akciğer BT Görüntülerinin Bölütlenmesi*
Buket KAYA, Muhammed ÖNAL
Sayfa: 1296 - 1303
- Eğitim Kurumları için Bilgi Yönetim Sisteminin Tasarımı ve Geliştirilmesi*
M. Hanefi CALP, Resul BÜTÜNER, Yusuf UZUN
Sayfa: 1304 - 1308
- Effect of Dunaliella salina on enhancing viability of probiotic and the nutritional value*
Zina ALAJİL ALSLIBİ, Abuzer ÇELEKLİ, Hüseyin BOZKURT
Sayfa: 1309 - 1311
- Yenilenebilir Enerji Üretiminde Mikrobiyal Biyoproseslerin Kullanımı*
Ülküye Dudu GÜL, Gizem BAYAZIT
Sayfa: 1312 - 1316
- Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Nesnelerin İnterneti Ağlarında DIS Flooding Saldırılarının Tespiti*
Semih ÇAKIR, Nesibe YALÇIN
Sayfa: 1317 - 1320
- Arch Index ile Pes Planus ve Pes Kavus'un Uzaktan Ön Tanısı*
Kaan EKSEN, Safa SERİF, Tacha SERİF
Sayfa: 1321 - 1329
- Gama (γ)-Aminobütirik Asitin (GABA) Gıda Sistemlerindeki Önemi ve Mikrobiyal Üretimi*
Nilgün ÖZDEMİR
Sayfa: 1330 - 1335
- Konsol Palplanş Duvarların Gömme Derinliklerinin Lineer Regresyon Analizi ile Tahmini*
Recep AKAN
Sayfa: 1336 - 1341
- Strength Behavior of Geopolymer Based SIFCON with Different Fibers*
Mukhallad Mohammed Mawlood AL-MASHHADANI
Sayfa: 1342 - 1347
- İlk Uç Yer Değiştirmesine Maruz Kalan Elastik Çubukta Gerilme Dağılımı*
Mehmet Nurullah BALCI
Sayfa: 1348 - 1355

İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

- Akımsız Ni-P-W Kompozit Kaplamalarda PTFE Konsantrasyonunun Sertlik ve Aşınma Üzerinde Etkisi*
Serdar ASLAN, Erhan DURU
Sayfa: 1356 - 1359
- Patolojik Doku Örneklerinde Mikroşerit Anten Yapısında Kazanç Artırımının İncelenmesi*
Rabia TOPRAK, Seyfettin Sinan GÜLTEKİN, Dilek UZER
Sayfa: 1360 - 1365
- Patolojik Doku Örneklerinde Mikroşerit Anten Yapısında S-Parametrelerine Ait Normalizasyon Değerlerinin İncelenmesi*
Rabia TOPRAK, Seyfettin Sinan GÜLTEKİN, Dilek UZER
Sayfa: 1366 - 1371
- Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Polimer Bazlı Membranlarla İlgili Son Gelişmeler*
Sema Tuğçe BAYKARA
Sayfa: 1372 - 1383
- Ultrason yardımı ile sentezlenen 12-tungstosforik asit metal tuzu nanoparçacıklarının karakterizasyonları*
Elif AKBAY, Mert Can ERTAŞ
Sayfa: 1384 - 1387
- Eksenel Basınç Yükü Altında Farklı Ebatlı Beton Küp Numunelerde Boyut Etkisinin İncelenmesi*
Hakan AYDIN
Sayfa: 1388 - 1398
- Ni-Sepiolit Katalizörler Üzerinde CO₂ Metanasyonu*
Tuğba YARBAŞ, Nezihe AYAS
Sayfa: 1399 - 1403
- Su Ortamından Mikroplastik Giderimine Genel Bakış*
Olca GÜLÇİÇEK UYSAL
Sayfa: 1404 - 1409
- Nehirlerde Mikroplastik Kirliliği ve Hidrodinamik Modellenmesi*
Olca GÜLÇİÇEK UYSAL
Sayfa: 1410 - 1414
- Nanoparçacık Takviyeli Epoksi Nanokompozitlerin Eğilme Davranışları*
Kazım Tolga ÇINAR, Mürsel EKREM
Sayfa: 1415 - 1418
- Eskişehir'in Kentsel ve Kırsal Bölgelerindeki Toprak Örneklerinde Mikroplastik Karakterizasyonu*
Esin Huriye BUĞDAYCI, Burcu ŞİMŞEK UYGUN
Sayfa: 1419 - 1423
- Taş Kolonlarla İyileştirilen Zeminlerin Deprem Etkisinde Taşıma Gücü Analizi: 2020 İzmir Depremi Örneği*
Ferhat ŞAHİNKAYA, Gökhan DEMİR
Sayfa: 1424 - 1427
- Derin Öğrenme Mimarilerini Kullanarak Katarakt Tespiti*
Fatih AĞALDAY, Ahmet ÇINAR
Sayfa: 1428 - 1433
- TiO₂ ve SiO₂ Nano Partiküllerinin Kamgarn Kumaşlarda Kendi Kendini Temizleme Uygulamaları*
Neslihan KORKMAZ
Sayfa: 1434 - 1436
- Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions with Fly Ash Based Geopolymer Foam*
Evren ARIÖZ, Gözde Bahar BÜKE
Sayfa: 1437 - 1441
- Görüntü İşleme Uygulaması ile Kanser Tespiti*
Gizem POYRAZ, Fatma ÖZTÜRK, Pınar KIRCI
Sayfa: 1442 - 1146
- Uçak Bakım Teknisyenleri için DEMATEL Yöntemi ile Fiziksel İş Yükü Faktörlerinin Değerlendirilmesi*
Yaşar ÖZTÜRK, Ebru YAZGAN, Elif KILIÇ DELİCE
Sayfa: 1447 - 1453

- Kiriş ve Plak Elemanlarda Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi için Kullanılan Bazı Sayısal Yaklaşımların Karşılaştırılması*
Mustafa Tolga YAVUZ, İbrahim OZKOL
Sayfa: 1454 - 1468
- Türk Trafik İşareti Tanıma: Eğitim Adım Sayıları ve Aydınlatma Koşullarının Karşılaştırılması*
Kaan KOCAKANAT, Tacha SERİF
Sayfa: 1469 - 1475
- Kimyasal Mordanların Varlığında Nylon Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanmasının Araştırılması*
Güzin AKYOL, Behcet BECERİR
Sayfa: 1476 - 1485
- Kesirli Diferansiyel Sistemler için Verilen Bazı Sınır Koşullarında Çözümlerin Varlığı ve Tekliği*
Münever TUZ
Sayfa: 1486 - 1491
- Küresel hastalık tezgahından başucu araştırmasına yönelik moleküler teknolojiadaki mikroRNA'lar*
Noorulain AKRAM, Zainab SHAHZOR, Iram MUSHTAQ, Ayesha ISHTIAQ, Khadam HUSSAIN, Iram MURTAZA
Sayfa: 1492 - 1500
- Pervanesiz Fanın Ortalama Çıkış Hızına Geometrik Parametrelerin Etkisi*
Doğukan AKGÖL, Şahin YAVUZ
Sayfa: 1501 - 1507
- P3HT:PCBM Organik Güneş Pillerinde Plazmonik Fotoakım İyileştirmesi*
Mahmoud FATHY
Sayfa: 1508 - 1516
- Limonen Bazlı Kükürt Polimerinin Sentezi ve Karakterizasyonu*
Ramazan ORHAN, Ercan AYDOĞMUŞ
Sayfa: 1517 - 1520
- New Design Compounds for Bone Cancer Treatment: Broader Bioactivity of Silicon Modified Methotrexate*
Esmâ ERYILMAZ DOĞAN
Sayfa: 1521 - 1527
- Çoklu Bant Uygulamaları için Bozuk Zemin Yapısına Sahip Basılı Bir Anten Tasarımı*
Maie GABER, Faten FOUAD, Ashraf YAHIA, Mostafa EL-AASSER, Nasr GAD
Sayfa: 1528 - 1533
- Tasarım Süreçlerinde Otomasyon Sistemlerinin Optimizasyonu ve Etkilerinin İncelenmesi*
Burak GÜL, Ersin TOPTAŞ
Sayfa: 1534 - 1539
- Bioinformatic Analysis of Human Collagen Sequence Mutations on Osteogenesis Imperfecta*
Gülsüm TİRAŞ, Esmâ ERYILMAZ DOĞAN
Sayfa: 1540 - 1544



Building and Cost Analysis of an Industrial Automation System using Industrial Robots and PLC Integration*

Enes Efe^{1†}, Muciz Ozcan², Huseyin Hakli³

^{1*} Hitit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Corum, Turkey, (ORCID ID 0000-0002-6136-6140), enesefe@hitit.edu.tr

² Necmettin Erbakan University, Department of EEE, Konya, Turkey, (ORCID ID 0000-0001-5277-6650) mozcan@erbakan.edu.tr

³ Necmettin Erbakan University, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID ID 0000-0001-5019-071X) hhakli@erbakan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.972290)

ATIF/REFERENCE: Efe, E., Ozcan, M. & Hakli, H. (2021). Building and Cost Analysis of an Industrial Automation System using Industrial Robots and Programmable Logic Controller Integration. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1-10.

Abstract

Technology rapidly advances on a daily basis and the resulting changes can provide numerous benefits for manufacturing methods and machines. Manufacturers who are able to swiftly embrace these developments can increase their manufacturing output, thereby boosting profitability and gaining competitive advantages over their rivals. However, the cost savings which result from new innovations can vary, depending on the manufacturing model. Consequently, manufacturers need to conduct accurate analyses for appropriate manufacturing methods in order to ensure that new changes are cost-effective. Nowadays, the use of industrial automation systems is gaining popularity as a method of increasing profitability for mass production, and these systems utilize control systems, such as industrial robots and programmable logic controllers. The use of these elements in the manufacturing process not only provides quality and flexible production methods, which are indispensable considerations, but also conserves human effort. The aim of this study was to minimize the cost of a factory-installed industrial automation system, which produced globe valves with side couplings, through the combined use of industrial robots and programmable logic controllers. While calculating returns from the installed system, the differential evolution algorithm was used to predict future unit prices of electricity, and it was determined that the cost of investment would be recovered after a maximum of 2.5 years and that current yearly production would increase fourfold.

Keywords: Industrial automation, Programmable logic controller, Industrial robots, Differential evolution algorithm, Prediction.

Endüstriyel Robot ve PLC Entegrasyonu ile Talaşlı İmalat Üretim İşleminin Gerçekleştirilmesi

Öz

Üreticiler üretim şekillerini değiştirmeden önce doğru analizler yaparak kendilerine en uygun üretim yöntemini seçmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada yan rakorlu küresel vana üretilen bir fabrikada Endüstriyel Otomasyon Sistemi kurulmuş ve kurulan bu sistemin maliyeti Endüstriyel Robot ve PLC beraber kullanılarak en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Üretim yönteminde Endüstriyel Robotun kullanılması ve mevcut sistemde ki üretimde bir takım değişiklikler yapılmasıyla esnek üretim sağlanmış ve üretimin aksamaması için bazı tedbirler alınmıştır. Kurulan sistem maliyetinin geri dönüşüm süreci hesaplanmasında Diferansiyel Evrim Algoritmasından yararlanılarak gelecekteki elektrik birim fiyatları tahmin edilmiştir. Bu çalışmada, yapılan yatırımın en fazla 2,5 yıl içerisinde geri döneceği ve mevcut yıllık üretim miktarının da yaklaşık 4 kat artacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Otomasyon, PLC, Endüstriyel Robot, Diferansiyel Evrim Algoritması.

* This paper was produced from the master's thesis of the first author

† Corresponding Author: enesefe@hitit.edu.tr

1. Introduction

As technology advances apace, new innovations have a critical effect on our lives. Manufacturing quality and the availability of cheap products have become inevitable necessities in today's global markets. The use of automation technologies has made it possible to mass-produce items and lower production costs [1]. Automation is defined as the automatic control of a tool, process, or system as a result of observation, decision making, and the ability to effect changes via mechanical or electronic devices, rather than human interaction [2]. An entire task is shared by humans and machines, and the sharing ratio of this activity effectively determines the level of automation. If human power predominates, the resulting system is said to be semi-automated; if machine power is dominant, this is known as full automation [3]. Industrial automation (IA), which uses modern techniques and applications in manufacturing, is an impressive manufacturing strategy that leads to ongoing competition between rival companies [4]. These systems are capable of replacing human power in virtually any business sector and utilize vital control systems, such as programmable logic controllers (PLC), industrial robots, computers and information technologies. This strategy enables quality and flexibility to be increased within manufacturing operations, and, on inspecting the manufacturing processes of developed countries, it becomes immediately obvious when automation systems have been widely deployed.

Industrial robots, which are among the most critical elements of industrial automation systems, continue to grow in importance on a daily basis [5]. Japan was the first country to use robots in industry and, at the time, their introduction brought concerns that unemployment would rise. However, their widening usage has removed any doubts that this would happen and has, in fact, led to many new lines of work, with the result that unemployment has decreased substantially [6]. Today, they are most frequently used in working environments where there is a risk to human life from hazardous conditions, resulting from high temperatures, mechanical vibrations, chemicals, and nuclear energy [7].

The PLC is another important element of industrial automation systems. Intended to replace relay command circuits, the PLC was so named because it was only able to perform basic logic operations when first introduced. Firms such as Allen Bradley, General Electric, Siemens, and Westinghouse produced the first medium-cost and high-performance PLCs, allowing this type of controller to be applied in industry [3]. As Toshiba, Mitsubishi, and Omron developed low-cost, high-performance devices, their use in industrial automation systems became even more widespread [8]. PLCs have many attributes including, but not limited to, flexibility, reliability, ease of expansion, and low power consumption. It is possible to control alterations and enlarge the system solely by changing the PLC software [9].

Various industrial automation studies have been documented in which PLCs and industrial robots have been used. In 2007, Niola et. al. examined the possibility of using a video system to plan a robot's trajectory, and this was achieved by controlling robots with a computer mouse from a personal computer (PC) monitor [10]. Dong and Kuang's 2013 study analyzed the communication signals between a Mitsubishi PLC and GlaxoSmithKline robot [11]. In 2017, Stückelmaier et al. presented a method of gradually increasing the trajectory accuracy of industrial robots and examined dynamic modeling,

definition, and kinematic calibration [12]. Jeong et al. published a study, in 2017, that discussed the software architecture of an integrated PLC robot, which played a key role in industrial smart systems [13]. Chen and Dong conducted studies to increase the accuracy and efficiency of robotic engraving and examined the feasibility of developing engraving systems that are capable of carrying out tasks that were previously thought to be the preserve of computer numerical control (CNC) machines [14].

In developed countries, engineering services are usually billed on an hourly basis. However, this is not the case in developing countries, such as Turkey, where remittance usually occurs at monthly intervals. In addition, advanced robots are more expensive compared to basic machines, and this results in additional costs for developing countries. Consequently, developed countries are able to use high-end industrial robots, that do not require additional engineering services and are capable of using PLC software, rather than having to procure further control systems. However, installation costs can be lowered by the use of a basic robot operating in conjunction with a PLC, and a number of studies have been documented that focus on reducing this expenditure.

This study was conducted in an active and physically-accommodating plant and produced statistical data, which was subsequently evaluated. In order to accurately calculate the cost of the installed system and determine the payback period, it was necessary to establish the price of the total electrical energy that the system would expend. This was determined by the use of a differential evolution (DE) algorithm to successfully predict future unit electricity prices, thereby allowing the total electricity bill for the system to be calculated. The DE algorithm is suitable for a range of applications in the electrical energy sector and can, for example, be used to determine load estimates, which are a crucial consideration in this field. Eke successfully estimated medium-term load using the DE algorithm [15], and Wang et al. used the DE algorithm to predict electrical energy consumption [16].

This study evaluated an automation system, consisting of an industrial robot and PLC, which was installed in a factory that manufactures side coupling globe valves (SCGV). The findings from this exercise were assessed and the costs of the system were compared with those that were incurred prior to installation. One of the most important aspects of this new system was the PLC, which, in combination with the industrial robot, enabled fast production. In addition, this study allowed the introduction of new techniques to calculate costs and determine the payback period.

This paper is structured as follows: Sections 2 are concerned with the installation of the industrial automation system and application of the proposed method; and Section 3-4 examines the experimental results which were obtained for the installed system.

2. Material and Method

This study focused on the use of an industrial automation system for the manufacture of valves with side couplings. Two CNC machines, a 6-axis industrial robot, and a PLC were provided for this purpose, and communications between these elements were achieved by the use of digital input-output signals.

2.1. Industrial Robot and PLC

An industrial robot is defined, according to ISO 8373, as a manipulator with three or more axes, which is programmable, multipurpose, and can be either wheeled or stationary [17]. The mobility of this manipulator varies according to its number of axes and features, and electrical, hydraulic, or pneumatic driver systems are used to power its joint movements. An industrial robot essentially comprises the manipulator, a teach pendant, and controller, while elements that remain outside the system boundaries of the robot are termed peripherals. The end effector, in this case, a standard pneumatic gripper, is used to grab the working parts (Figure 1). Other peripherals include sensors, machines, conveyor belts, and security equipment, etc. The controller ensures that the industrial robot works in harmony with the peripheral devices and performs the desired movements [18].



Fig. 1 The Standard Pneumatic Gripper Used as an End Effector in this Study.

PLCs have a microprocessor base, receive information from detectors in the field, and process this information as instructed. Consequently, they are able to control remote instrumentation and can be used in industrial automation systems to execute command and control mechanisms. In addition, PLCs are industrial computers that are equipped with input and output capabilities that enable them to communicate with separate devices and work in combination with SCADA [19]. The PLC examined in this study allowed the actions of the industrial robot and CNC to be synchronized, thereby allowing control of the hardware elements in the system.

2.2. DE Algorithm

The DE Algorithm was proposed by Storn and Price in 1995 and is a population-based method that uses operators resembling those in genetic instructions, such as mutation, selection, and crossing [20]. The DE Algorithm uses the following parameters: population size (Np), scaling factor (F), and crossing ratio (Cr). The principal steps of the DE Algorithm are:

Step 1: Determination of the initial population.

Step 2: Evaluation of the initial population.

Step 3: Mutation.

Mutation is a process that adds the scaled difference of two random individuals to another individual that has been randomly selected from the population.

$$v_{m,t+1} = x_{r_3,t} + F \times (x_{r_1,t} - x_{r_2,t}) \quad (1)$$

In Equation 1, $v_{m,t+1}$ represents the mutated individual, while $x_{r_1,t}$, $x_{r_2,t}$, and $x_{r_3,t}$ are randomly selected individuals from the population ($x_{r_1} \neq x_{r_2} \neq x_{r_3} \neq x_i$).

Step 4: Crossing.

The value of C_r determines which genes are taken from the new individual, due to the mutation. If a randomly-generated value between 0 and 1 is less than C_r , it is chosen from $n_{j,i,G+1}$; if it is greater than C_r , it is selected from the current vector. The aim of these operations is to ensure that a previously specified ratio of genes are taken from the mutated individual. The mathematical expression for the crossing method is:

$$x_{j,u,t+1} = \begin{cases} x_{j,m,t+1} & \text{if } rand[0,1] \leq C_r \text{ or } j=j_{rand} \\ x_{j,i,t} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

In Equation 2, $x_{u,t+1}$ represents the candidate individual after crossing, and j is the current gene index. If none of the values acquired for any gene are less than C_r , the current individual remains unchanged. In order to circumvent this situation, a randomly-selected gene (j_{rand}) is updated to ensure at least one gene mutation occurs.

Step 5: Choice.

A choice is made in favor of the candidate individual or current individual that best fits the criteria. This practice is generally known as the greedy-choice method. A comparison is made between the current individual's purpose function performance and the candidate's solution.

Step 6: Stopping Criterion.

Steps 3, 4, and 5 are repeated sequentially until the stopping criterion is satisfied. Otherwise, the best solution is reported and the algorithm terminates.

2.3. Installation of the Industrial Automation System

The components of the industrial automation system installed during this study are shown in Figure 2. The system comprised two CNC machines, a handling station, an industrial robot, and PLC. The CNC machines were positioned directly opposite each other, with the robot installed between them, and the handling station was placed in front of the robot. The PLC controlled the hardware elements of the system and was in constant communication with the industrial robot. In addition to ensuring that the industrial robot and the CNCs worked in synchronization, the PLC controlled the operation of the handling station, while the industrial robot commanded the CNC machines. A program was written and uploaded to the PLC, in order to execute the necessary control operations.

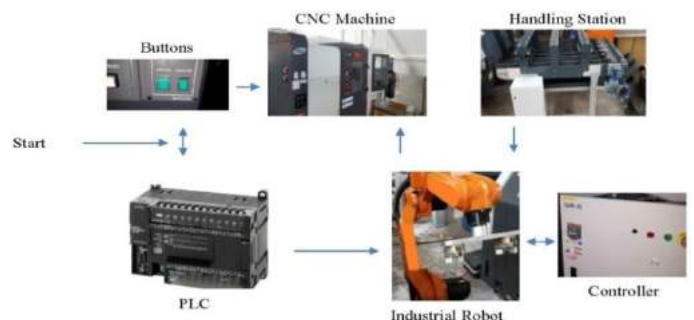
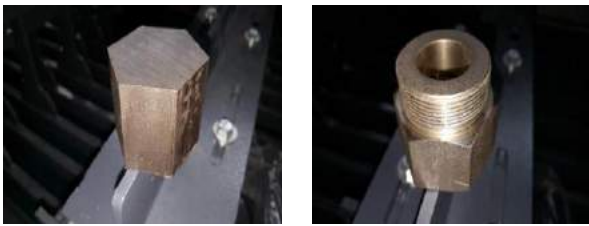


Fig. 2 Illustration of the Control Components of the System.

Two grippers were used to exchange processed and unprocessed parts. The first gripper carried the completed SCGV

away from the CNC, while the second gripper transported the unprocessed part to the CNC (Figure 3).



(a) Unprocessed Part. (b) Processed Part.

Fig. 3

Having selected appropriate grippers, it was necessary to design a handling station that was suitable for use with the robot arm. Processed parts were carried to the conveyor by the robot.

The exchange of parts between the handling station and industrial robot was made possible by the use of optical proximity sensors, which were keyed at a frequency of 1000 Hz. When the part had been completed, the sensors sent a ready signal to the robot, which seized it using the gripper. Figure 4 depicts the position of the sensors on the handling station, while Figure 5 shows the use of the gripper to seize a part.



Figure 4. Handling Station Sensors.



Figure 5. Gripper Receiving a Part.

In order to ensure that the actions of the handling station and CNC machines were coordinated, it was necessary to use a PLC with a sufficient number of inputs and outputs. The PLC was required to control the handling station, CNC gates, and mirrors, and the manufacturer's proprietary ladder programming language was used to ensure this functionality was satisfied. In addition to being operated via the industrial robot, the CNC machine gates and mirrors were also controlled by the PLC. Manual operation was therefore possible when the industrial robot was switched off. When the system starts up, the industrial robot initially takes the unprocessed part from the handling station (Figure 6 (a)) and then hands it to the CNC for processing, while simultaneously taking the completed part away from the machine (Figure 6 (b) - (c)). Lastly, the robot places the processed part on the conveyor.



(a)



(b)



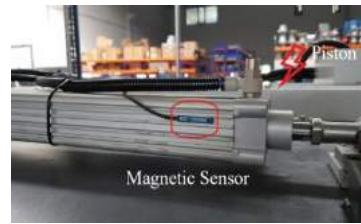
(c)



(d)

Fig. 6 Industrial Robot Actions.

Control of the CNC machine's gates was switched from manual to automatic using dual pneumatic valves, a 40 x 40 x 600 mm piston, and magnetic sensors, which operated at a switching frequency of 5000 Hz (Figure 7).



(a)



(b)

Fig. 7 (a) Piston. (b) Dual Pneumatic Valve.

Finally the industrial robot was programmed with its integrated programming language, which resembled C, to ensure system stability.

2.4. Electricity Price Prediction Using the DE Algorithm

In order to observe the system's efficiency and determine the payback period, it was necessary to estimate the unit price of electricity in the following years. Since electricity prices depend on a multitude of parameters, they can be highly variable over a period of time. It was therefore necessary to adopt the use of robust and reliable methods, through the use of smart systems, to provide suitable forecasts. Although there are no documented studies concerning the calculation of unit electricity prices, numerous enquiries have been carried out into the estimation of future energy demand. Many nature-inspired algorithms have been used for this purpose and these include a number of computational methods, such as the genetic algorithm [21, 22], particle swarm optimization [23, 24], ant colony optimization [25], artificial bee colony optimization [26], the DE algorithm [27], and various hybrid techniques [28]. Studies have also been undertaken with regard to the estimation of electricity generation and consumption [29-31]. This study adopted the use of the DE algorithm, which, in addition to offering efficient performance and being easy to apply, was based on the work of Beskirli et al. [27], who proposed its use for energy demand estimation in preference to other nature-inspired methods.

Four economic criteria were considered when estimating energy demand: gross domestic product (GDP), population, and values of imports and exports. [23-27]. These parameters, together with electricity generation and consumption, directly influence unit electricity prices. Table 1 contains values for these 6 criteria between 1995 and 2015 [29].

Table 1. Unit electricity price (kWh), GDP, population, values of imports and exports, electricity production and electricity consumption for Turkey between 1995 and 2015.

Year	Name and number of variables						
	1	2	3	4	5	6	
	Unit Price (kWh)	GDP (\$10 ⁹)	Population (10 ⁶)	Import (\$10 ⁹)	Export (\$10 ⁹)	Electricity production (10 ⁹)	Electricity consumption (10 ⁹)
1995	0.20	168.08	58.48	35.71	21.64	86.25	67.39
1996	0.36	181.07	59.42	43.63	23.22	94.86	74.16
1997	0.71	188.73	60.37	48.56	26.26	103.30	81.89
1998	1.14	270.94	61.32	45.92	26.97	111.02	87.71
1999	1.94	247.54	62.28	40.67	26.59	116.44	91.20
2000	3.43	265.38	63.24	54.50	27.78	124.92	98.30
2001	4.72	196.73	64.19	41.40	31.33	122.73	97.07
2002	10.62	230.49	65.14	51.55	36.06	129.40	102.95
2003	12.00	304.90	66.08	69.34	47.25	140.58	111.77
2004	11.22	390.38	67.00	97.54	63.17	150.70	121.14
2005	11.22	481.49	67.90	116.77	73.48	161.96	130.26
2006	10.00	526.42	68.76	139.58	85.54	176.30	143.07
2007	9.39	648.75	69.59	170.06	107.27	191.56	155.14
2008	14.37	742.09	70.44	201.96	132.03	198.42	161.95
2009	14.15	616.70	71.33	140.93	102.14	194.81	156.89
2010	15.31	731.60	72.32	185.54	113.88	211.21	172.05
2011	15.31	773.97	73.40	240.84	134.91	229.40	186.10
2012	15.81	786.28	74.56	236.54	152.47	239.50	194.92
2013	18.16	823.04	75.78	251.66	151.81	240.15	198.05
2014	18.16	799.36	77.03	242.17	157.62	251.96	207.38
2015	19.28	719.62	78.27	207.23	143.84	261.78	217.31

Examination of Table 1 indicates that, although electricity generation and consumption have steadily increased over the years, there are periods of time when electricity unit prices have stayed relatively constant, or even slightly declined, prior to subsequent increases. In general, GDP and the values of imports have risen steadily between 1995 and 2013, although they have fallen in the last two years of the period considered.

Two separate models, one linear, the other quadratic, were implemented to estimate energy or electricity demand [23, 25-27]. Of these, the quadratic model proved to be much more efficient and was preferred for this study. The quadratic equation for four variables can be expressed as follows:

$$E_{quadratic} = w_1 + w_2X_1 + w_3X_2 + w_4X_3 + w_5X_4 + w_6X_1X_2 + w_7X_1X_3 + w_8X_1X_4 + w_9X_2X_3 + w_{10}X_2X_4 + w_{11}X_3X_4 + w_{12}X_1^2 + w_{13}X_2^2 + w_{14}X_3^2 + w_{15}X_4^2 \quad (3)$$

The parameters X_1, X_2, X_3, X_4 represent GDP, population, values of imports, and values of exports, respectively, while w_1, w_{15} are their corresponding weights. Equation 3 is formulated for 4 variables, and if this number increases, the formula must be changed accordingly. For 4 variables, there are 15 weights (also

the dimensions of the problem); when there are 5 variables there are 21 weights; and 6 variables require 28 weights. The accuracy of the prediction is verified by the purpose function shown in Equation 4.

$$minf(v) = \sum_{r=1}^R (E_r^{observed} - E_r^{predicted})^2 \quad (4)$$

$E_r^{observed}$ and $E_r^{predicted}$ are the observed and predicted unit electricity prices, respectively, and R is the year in which the observation occurs. The main objective is to find the weights which correspond to the $minf(v)$ value for each year [27]. The smaller $f(v)$ is, the more accurate the estimate for a given year is.

3. Results

In this study, experimental testing was carried out using a PC equipped with an i5-6400 central processing unit (CPU), an AMD Radeon R7-200 graphics processing unit (GPU), and 8 gigabytes (GB) of random-access memory (RAM). The Industrial Automation System was realized in firm facilities. The experimental results were separated into three parts; an

evaluation of the utility of the system, unit electricity price estimates, and cost analysis and payback period calculations.

Table 2. Comparisons of Coefficients and Relative Errors.

3.1. Analysis of the Industrial Automation System Output

A significant increase in production was noted after the industrial robot and PLC had been installed. Prior to automation, the daily production output, between 8 a.m. and 6 p.m., was an average of 400 units, while after installation the output had risen to an average quantity of 585 units. If the system was allowed to run round the clock, this output jumped to around 1400 units. Previously, daily production was limited to approximately 8 hours, after the workers' lunch breaks and recess times had been taken into account. Following automation, continuous production was possible on a 24-hour basis, and this was the most significant benefit to result from installation of the system.

The system provides an additional advantage in that the PLC can allow manual production, if required. Machining is only possible with the use of the industrial robot; however, manual production is only possible if the PLC and robot are active.

3.2. Future Projections of Unit Electricity Price

The data presented in Table 1, over a 21 year period, was used for the estimation of electricity unit prices, using the DE algorithm. In this analysis, F was taken to be 0.5, while Cr and Np were set to values of 0.9 and 100, respectively. The maximum number of function evaluations was specified as 5×10^5 . The variables GDP, population, and values of imports and exports were initially tested as stand-alone criteria; electricity generation and consumption were then tested in combination with the other parameters (Table 2). The quadratic form given in Equation 3 was rearranged in accordance with the number of variables used.

The DE algorithm was run using variables that were chosen for 4 different scenarios, and, after 10 trials, the best results were selected for use in this study. Table 2 gives the weights and errors for the 4 variables used.

Coefficients	Selected Variables			
	1,2,3,4	1,2,3,4,5	1,2,3,4,6	1,2,3,4,5,6
w1	10.00000	-9.17532	9.62941	-8.48483
w2	-0.24023	0.09704	3.32920	-2.61183
w3	-1.29403	-9.99305	1.60644	9.02448
w4	-3.00539	2.19926	-4.12544	-8.70575
w5	6.02331	-4.09795	-6.21791	-1.76599
w6	0.00453	3.31954	-6.13156	9.94205
w7	0.00122	-0.00483	-0.08804	-7.33863
w8	0.00204	-0.01348	-0.00783	-0.01581
w9	0.04775	0.00536	-0.02306	-0.03232
w10	-0.09946	-0.00096	0.02342	0.21898
w11	-0.00991	-0.03412	0.15556	0.49497
w12	-0.00041	0.14561	0.20481	-0.54486
w13	0.01937	-0.15470	0.04591	-0.29004
w14	-0.00037	0.06002	0.04389	0.43933
w15	0.00681	0.01262	-0.07044	1.65158
w16	-	-0.05923	-0.05802	-1.34516
w17	-	0.00168	0.00228	0.58050
w18	-	0.24909	0.01065	1.91664
w19	-	-0.00033	0.01433	-2.07848
w20	-	-0.03886	0.03802	-2.73528
w21	-	0.03174	0.01783	2.86035
w22	-	-	-	-1.90207
w23	-	-	-	-0.01904
w24	-	-	-	-0.55196
w25	-	-	-	-0.17802
w26	-	-	-	-0.85209
w27	-	-	-	-0.38560
w28	-	-	-	2.64912
Error Rate	33.21	9.79	21.83	3016.10

Examination of Table 2 reveals that the best electric unit price estimation, with a 9.79 error rate, resulted from the combination of variables 1, 2, 3, 4, and 5. When electricity generation and consumption were both included in the calculations, the error rate for the estimate became significantly higher in relation to other conditions. Incremental increases in the error value corresponded to higher fitting values, which are the product of a square function [27]. Future projections relied on the combination of GDP, population, values of imports, and values of exports.

Figure 8 compares the estimates obtained for variables 1, 2, 3, 4, and 5, with the values observed between 1995 and 2015. The results show that, in general, the estimations were very close to the actual values, and it can be concluded that the proposed model was reliable and fit for purpose. This is particularly true when examining the findings for 2000, 2007, and 2009; although some disparity is evident for 2002 and 2003.

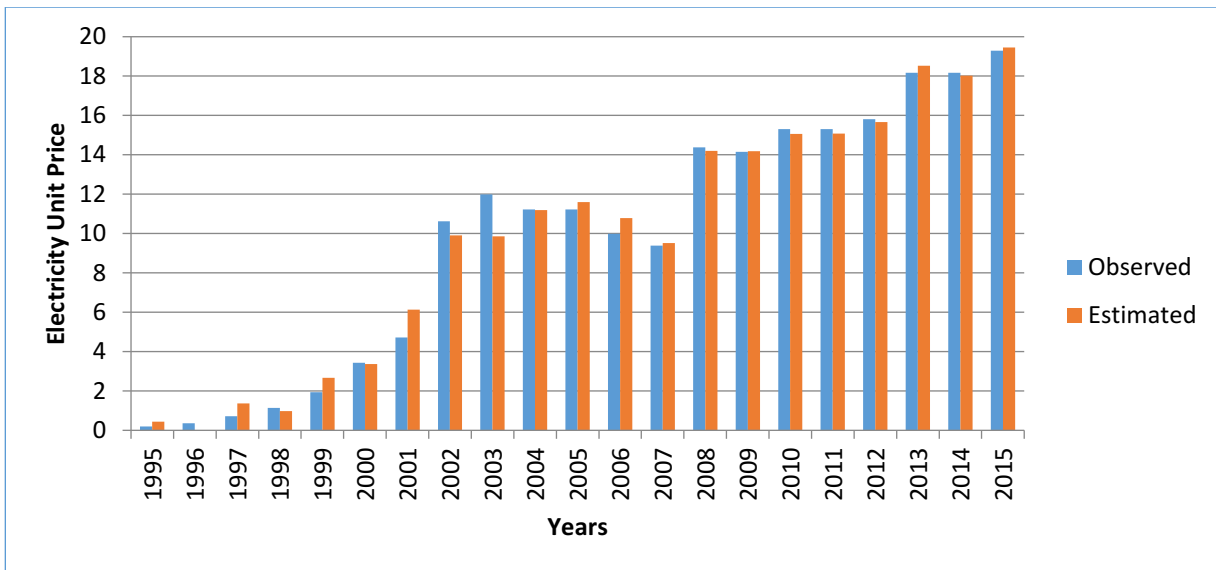


Fig. 8

Comparison of Observed and Estimated Electricity Unit Prices.

Three different scenarios were prepared for the estimation of electricity unit prices in Turkey, between 2016 and 2035.

Scenario 1: Between 2016-2035, the following were assumed: a mean GDP growth rate of 3%, a population growth rate of 1%, an import growth rate of 3%, and a 5% increase in electricity production and values of exports.

Scenario 2: Between 2016-2035, the following were assumed: a mean GDP growth rate of 4%, a population growth rate of 2%, an import growth rate of 4%, and a 5% increase in electricity production and values of exports.

Scenario 3: Between 2016-2035, the following were assumed: a mean GDP growth rate of 6%, a population growth rate of 4%, an import growth rate of 6%, and a 7% increase in electricity production and values of exports. Table 3 contains future projections that were obtained for each scenario, using the

weight values acquired from the DE algorithm. These scenarios were determined by considering low, normal, and high levels of increase in the appropriate variables. Examination of the findings reveals that Scenario 1 resulted in the highest level of agreement between the estimations and actual figures, from 2016 to 2018. The rapid increase in unit price observed for Scenario 2 and less inflationary trends of Scenarios 1 and 3 are illustrated in Figure 9. It can be seen that after 2022, the estimates obtained for Scenario 3 were initially smaller than those of the other data sets; after 2030, however, they quickly increased and went on to exceed the values derived for Scenario 1. The results show that the estimated figures for Scenarios 2 and 3 continued to increase over time, while the values obtained for Scenario 1 fell over the last two years of the time frame.

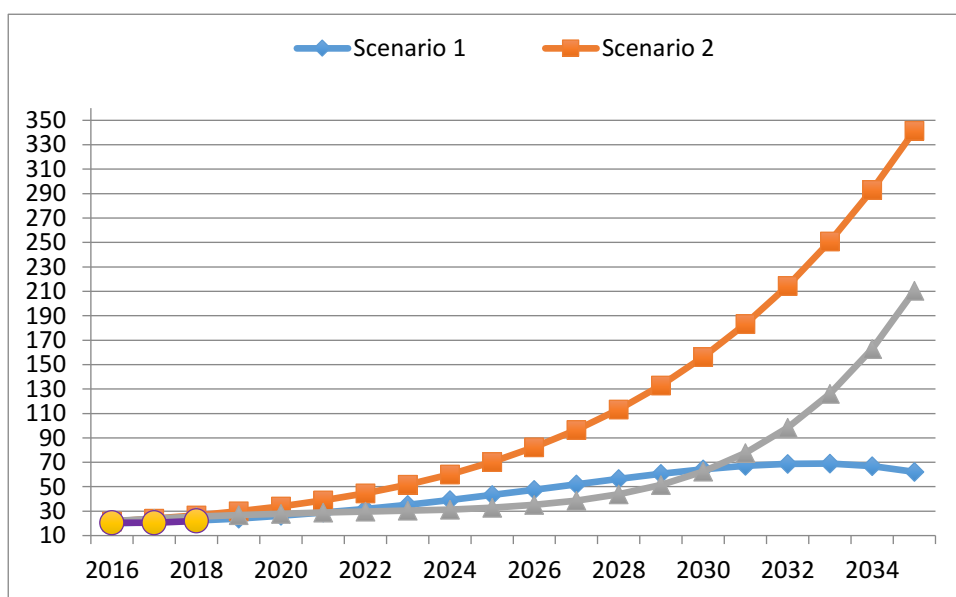


Fig. 9 Future Projections of Electricity Unit Price for Scenarios 1-3.

3.3. Systems Costs and Profit Analysis

Future projections of the electricity unit price were used to carry out a cost and profit analysis, and the following tariffs were added to these values: a 40% distribution charge for unilateral industry groups, a 1% energy fund, a 5% municipal consumption tax (MCT), and 18% value added tax (VAT). Table 3 shows the resulting estimates for all three scenarios.

Table 3. Electricity Prices Estimates Including Tax (Turkish kurus).

Year	Scenarios		
	1	2	3
2019	39.36	64.54	105.85
2020	42.94	70.42	115.49
2021	47.23	77.46	127.04
2022	52.23	85.66	140.48
2023	57.89	94.93	155.69
2024	64.14	105.19	172.52
2025	70.89	116.27	190.68
2026	78.00	127.93	209.80
2027	85.28	139.86	229.37
2028	92.48	151.67	248.73
2029	99.28	162.83	267.04
2030	105.30	172.69	283.21
2031	110.04	180.46	295.95
2032	112.89	185.14	303.64
2033	113.14	185.56	304.31
2034	109.92	180.26	295.63
2035	102.16	167.54	274.76

Two different modes of operation were examined during this study. In the first of these (Mode a), it was assumed that the new system would work continuously for 24 hours; in the second mode (Mode b), it was assumed that work would only take place between the hours of 8 a.m. and 6 p.m. The total energy costs of the system were calculated for both operating modes, using the previous cost estimates with taxes (Table 4). In addition, the ticket prices of the control elements of the system were included, and the average power consumption of these components was taken as 5.5 kW and multiplied by the electricity prices including tax. The total number of working days was assumed to be 260, allowing for weekends, and the results were multiplied by this figure in order to calculate the annual energy costs of the system.

Table 4. Total Energy Costs of the System for Various Scenarios and Operating Modes (10³ Turkish lira).

Year	Scenarios/ Operating Modes					
	1		2		3	
	a	b	a	b	a	b
2019	13.51	5.63	22.15	9.23	36.33	15.14
2020	14.74	6.14	24.17	10.07	39.63	16.51
2021	16.21	6.75	26.59	11.08	43.60	18.17
2022	17.93	7.47	29.40	12.25	48.21	20.09
2023	19.87	8.28	32.58	13.58	53.43	22.26
2024	22.01	9.17	36.10	15.04	59.21	24.67
2025	24.33	10.14	39.90	16.63	65.44	27.27
2026	26.77	11.15	43.90	18.29	72.00	30.00
2027	29.27	12.20	48.00	20.00	78.72	32.80
2028	31.74	13.22	52.05	21.69	85.37	35.57
2029	34.07	14.20	55.88	23.28	91.65	38.19
2030	36.14	15.06	59.27	24.69	97.20	40.50
2031	37.76	15.74	61.93	25.81	101.57	42.32
2032	38.74	16.14	63.54	26.48	104.21	43.42
2033	38.83	16.18	63.68	26.53	104.44	43.52
2034	37.72	15.72	61.87	25.78	101.46	42.27
2035	35.06	14.61	57.50	23.96	94.30	39.29

It was assumed that workers would be paid the minimum wage. Since accurate forecasts for the inflation rate were critical for reliable estimates, appropriate data was obtained from the Central Bank of Turkey. After installation, labor costs were largely replaced by the energy costs of the system, and the difference between them was multiplied by 260 to give the profits shown.

The price increases for SCGVs were determined in accordance with the inflation rate forecasts. SCGV unit prices were multiplied by the average daily production figure of 400 and number of working days (260) to obtain the annual income prior to installation. The corresponding revenue after installation was calculated in a similar fashion, and daily production estimates of 1400 and 585 units were assumed for Modes a and b, respectively.

Table 5 presents the cumulative total profit for each scenario and operating mode over the period in question. It should be noted that the manufacturer paid an initial system installation cost of 42,000 euros.

European Journal of Science and Technology
 Table 5. Cumulative Total Profit After Installation of the System (10³ Turkish lira).

Years	Scenarios					
	1		2		3	
	a	b	a	b	a	b
2019	403.40	93.43	394.75	89.82	380.57	83.92
2020	847.03	196.02	828.96	188.49	799.31	176.14
2021	1334.62	308.47	1306.17	296.61	1259.51	277.17
2022	1870.22	431.47	1830.30	414.83	1764.83	387.55
2023	2458.33	565.80	2405.70	543.87	2319.37	507.90
2024	3104.08	712.50	3037.36	684.69	2927.93	639.10
2025	3813.16	872.67	3730.86	838.38	3595.89	782.14
2026	4591.86	1047.59	4492.43	1006.16	4329.36	938.22
2027	5447.20	1238.67	5329.04	1189.43	5135.25	1108.69
2028	6386.96	1447.47	6248.49	1389.77	6021.39	1295.15
2029	7419.85	1675.81	7259.57	1609.03	6996.71	1499.50
2030	8555.56	1925.74	8372.15	1849.32	8071.35	1723.99
2031	9804.89	2199.54	9597.31	2113.05	9256.87	1971.20
2032	11179.85	2499.80	10947.47	2402.98	10566.37	2244.19
2033	12693.86	2829.43	12436.62	2722.25	12014.77	2546.47
2034	14361.85	3191.69	14080.47	3074.45	13619.02	2882.17
2035	16200.49	3590.27	15896.68	3463.68	15398.43	3256.08

Initial installation cost was 42,000 euros (222,306 TL, according to exchange rate of 01.06.18).

Figure 10 shows the profit graphs for the scenarios and operating modes in question. It can be seen that if the automated system commenced operation in 2019, it would become profitable within 2-3 years, assuming 8 a.m. to 6 p.m. working. However, if the system was operated on a 24 hour basis, it would become profitable within the first year. Although theoretically possible, producers prefer to avoid continuous production due to the attendant reduction in machine service life.

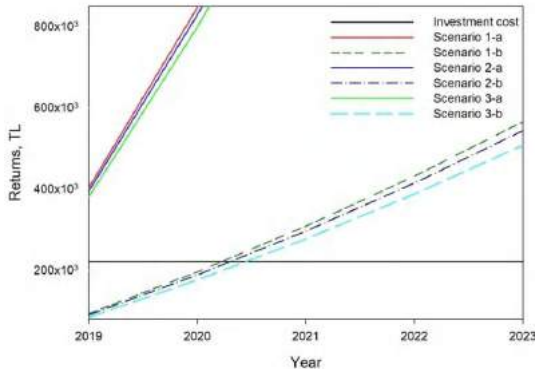


Fig. 10 Profit Graph of the System.

4. Discussion and Conclusion

This study considered the installation of an industrial automation system which produced SCGVs. One of the innovations that were done in this study is that the Industrial Automation System computes the time to return to profitability by using artificial intelligence techniques. In contrast to many

other systems, a PLC was used in addition to an industrial robot and, in order to accurately calculate the costs of the installed system to the producer, a DE algorithm was used to estimate future electricity unit prices in Turkey. Thus the total energy cost was calculated and compared with the labor costs prior to installation. In the light of this study, the system was expected to become profitable within 2.5 years and return considerable gains thereafter.

The use of a PLC provides significant advantages, namely: the ability of the system to operate manually, providing continuous production, and the option to procure cheaper robots without additional features. Furthermore, the resulting simplicity of the robot software increases the usability of the system. In summary, the installation of this automated system resulted in increased production and higher levels of efficiency and flexibility.

In the future, it may be possible to achieve greater efficiency by reducing energy expenditure. The electric energy used by the system could be supplied from renewable energy sources, and the system could be made more economical. Moreover, the use of a wireless communication feature could increase the usability of the system by enabling control over a remote computer.

References

1. Yücel, İ.H., *Sanayide Robot Teknolojisi. Uygulaması Ve Önemi*, DPT Yayınları, Ankara, Aralık, 1991.
2. Sheridan, T.B., *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. 1992: MIT press.
3. Özcan, M., *Otomasyon sistemlerinde PLC uygulamaları*. 2004: Atlas Yayın dağıtım.

4. Acharya, V., S.K. Sharma, and S. Kumar Gupta, *Analyzing the factors in industrial automation using analytic hierarchy process*. Computers & Electrical Engineering, 2017.
5. Çengelci, B. and H. Çimen, *Endüstriyel robotlar*. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2005. 2(2): p. 69-78.
6. Peşkircioğlu, N., *Otomasyon ve Entegre Kalite Kontrolü*. Verimlilik Dergisi, (15): p. 19-40.
7. De Silva, D., *Reactions to Robots, Engineering*. 1987, April.
8. Kurtulan, S., *PLC ile endüstriyel otomasyon*. 2001: Birsen Yayınevi.
9. Rehg, J.A. and G.J. Sartori, *Programmable logic controllers*. 2009, Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.
10. Niola, V., C. Rossi, and S. Savino, *Vision system for industrial robots path planning*. International journal of Mechanics and control, 2007. 8(1): p. 35-45.
11. CHEN, D.-q. and Y.-c. KUANG, *Communication between Mitsubishi PLC and GSK Industrial Robot*. Mechanical Engineer, 2013. 4: p. 023.
12. Stükelmaier, P., M. Grotjahn, and C. Fräger. *Iterative improvement of path accuracy of industrial robots using external measurements*. in *Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2017 IEEE International Conference on*. 2017. IEEE.
13. Jeong, H.S., et al. *Design of SW architecture for PLC integrated robot*. in *Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2017 14th International Conference on*. 2017. IEEE.
14. Chen, Y. and F. Dong, *Robot machining: recent development and future research issues*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013. 66(9-12): p. 1489-1497.
15. Eke, İ., *Diferansiyel evrim algoritması destekli yapay sinir ağı ile orta dönem yük tahmini*. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 2011. 3(1): p. 28-32.
16. Wang, L., et al., *Effective electricity energy consumption forecasting using echo state network improved by differential evolution algorithm*. Energy, 2018. 153: p. 801-815.
17. Standard, I., 8373: 1994. Manipulating industrial robots–Vocabulary.
18. Dişlitaş, S., *Endüstriyel Robot Programlama*. Baskı, Endüstriyel Robot Programlama Eğitimi ile Mesleki ve Teknik Eğitim Güçlendirilmesi (ERPE-METEG) Projesi, Çorum, 2015.
19. Mirzaoğlu, İ. and M. Sarıtaş, *PLC VE SCADA Kullanarak Bir İrmik Üretim Sisteminin Otomasyonu*. 2008.
20. Storn, R. and K. Price, *Differential evolution-A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces [R]*. Berkeley: ICSI, 1995.
21. Canyurt, O.E., et al., *Energy demand estimation based on two-different genetic algorithm approaches*. Energy Sources, 2004. 26(14): p. 1313-1320.
22. Ceylan, H. and H.K. Ozturk, *Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach*. Energy Conversion and Management, 2004. 45(15-16): p. 2525-2537.
23. Unler, A., *Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025*. Energy Policy, 2008. 36(6): p. 1937-1944.
24. Gulcu, S. and H. Kodaz, *The estimation of the electricity energy demand using particle swarm optimization algorithm: A case study of Turkey*. 8th International Conference on Advances in Information Technology, 2017. 111: p. 64-70.
25. Toksari, M.D., *Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey*. Energy Policy, 2009. 37(3): p. 1181-1187.
26. Sonmez, M., A.P. Akgungor, and S. Bektas, *Estimating transportation energy demand in Turkey using the artificial bee colony algorithm*. Energy, 2017. 122: p. 301-310.
27. Beskirli, M., H. Hakli, and H. Kodaz, *The energy demand estimation for Turkey using differential evolution algorithm*. Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences, 2017. 42(10): p. 1705-1715.
28. Kiran, M.S., et al., *A novel hybrid approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to forecast energy demand of Turkey*. Energy Conversion and Management, 2012. 53(1): p. 75-83.
29. Yumurtaci, Z. and E. Asmaz, *Electric energy demand of Turkey for the year 2050*. Energy Sources, 2004. 26(12): p. 1157-1164.
30. Kavaklioglu, K., et al., *Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks*. Energy Conversion and Management, 2009. 50(11): p. 2719-2727.
31. Toksari, M.D., *A hybrid algorithm of Ant Colony Optimization (ACO) and Iterated Local Search (ILS) for estimating electricity domestic consumption: Case of Turkey*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2016. 78: p. 776-782.



Bi Ideals of Nearness Semirings

Özlem Tekin^{1*}

^{1*} Adıyaman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Adıyaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1721-1053)
umduozlem42@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.973355)

ATIF/REFERENCE: Tekin, Ö. (2021). Bi Ideals of Nearness Semirings. *European Journal of Science and Technology*, (28), 11-15.

Abstract

Bi ideals are the generalisation of quasi ideals. In this article, it is defined that the notion of bi-ideals in semirings on weak nearness approximation spaces. Afterwards, it is explained that some of the concepts and definitions related to the subject. Also, it is given that the definition of nearness m -bi ideals and nearness (m, n) -quasi ideals. Thus, we examine the relationship between nearness m -bi ideals and nearness (m, n) -quasi ideals .

Keywords: Nearness approximation space, Semirings, Nearness semiring, Quasi ideals, Bi ideals.

Yakınlık Yarı Halkalarının Bi İdealleri

Öz

Bi idealler, quasi ideallerin bir genelleştirmesidir. Bu çalışmada, zayıf yakınlık yaklaşım uzaylarında bi-idealler kavramı tanımlandı. Daha sonra, konuyla ilgili bazı tanımlar ve kavramlar açıklandı. Ayrıca, yakınlık m -bi idealleri ve yakınlık (m, n) -quasi ideallerinin tanımları verildi. Böylece, yakınlık m -bi idealleri ve yakınlık (m, n) -quasi ideallerinin aralarındaki ilişkiyi inceledik.

Anahtar Kelimeler: Yakınlık Yaklaşım Uzayları, Yarı Halkalar, Yakınlık Yarı Halkaları, Quasi idealler, Bi idealler.

* Corresponding Author: umduozlem42@gmail.com

1. Introduction

Peters studied near sets theory that is a generalisation of rough sets [1] in 2002. Peters gaved an indiscernibility relation by utilizing the features of the objects to determine the nearness of the objects [2]. Afterwards, he generalised approach theory in the study of the nearness of non-empty sets which are similar to each other [3], [4]. İnan and Öztürk introduced the notion of nearness groups [5]. Therefore, other approaches have been studied in [6], [7], [8].

The concept of semiring theory was defined by Vandier [9] in 1934 and many mathematicians proved important properties for semiring theory. Especially, semirings are very important for determinants and matrices. One of the most important notion for semirings is ideals. Henriksen and Shabir et al. [10] studied ideals for semirings. In 1952, the notion of bi ideals for semigroups was defined by Good and Hughes [11]. Afterwards, Lajos and Szasz introduced theory of bi ideals in rings and semirings [12]. Bi-ideals are a special situation of (m,n) ideal. Tekin defined quasi ideals in semirings on weak nearness approximation spaces [13].

In this article, bi ideals in semirings are defined and some of the concepts and definitions on weak nearness approximation spaces are explained. Furthermore, we study some basic properties of bi ideals.

2. Preliminaries

An object characterization is given by means of a tuple of function values $\Phi(x)$ deal with an object $x \in X$. $B \subseteq F$ is a set of probe functions and these functions stand for features of sample objects $X \subseteq O$. Let $\varphi_i \in B$, that is $\varphi_i : O \rightarrow \mathbb{R}$. The functions showing object features supply a basis for, $\Phi: O \rightarrow \mathbb{R}^L$, $\Phi(x) = (\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_L(x))$ a vector consisting of measurements deal with each functional value $\varphi_i(x)$, where the description length $|\Phi| = L$ ([2]).

The choice of functions $\varphi_i \in B$ is very important by using to determine sample objects. Each φ shows a descriptive pattern of an object. The difference φ means to a description of the indiscernibility relation “ \sim_B ” defined by Peters in [2]. B_r is probe functions in B for $r \leq |B|$.

Definition 2.1 [2]

$\sim_B = \{(x, x') \in O \times O \mid \Delta_{\varphi_i} = 0, \forall \varphi_i \in B, B \subseteq \mathcal{F}\}$
means indiscernibility relation on O , where description length $i \leq |\Phi|$. \sim_{B_r} is also indiscernibility relation determined by utilizing B_r .

Near equivalence class is stated as $[x]_{B_r} = \{x' \in O \mid x \sim_{B_r} x'\}$. After attaining near equivalence classes, quotient set $O / \sim_{B_r} = \{[x]_{B_r} \mid x \in O\} = \xi_{O, B_r}$ and set of partitions $N_r(B) = \{\xi_{O, B_r} \mid B_r \subseteq B\}$ can be found. By using near equivalence classes, $N_r(B)^*X = \cup_{[x]_{B_r} \cap X \neq \emptyset} [x]_{B_r}$ upper approximation set can be got.

Definition 2.2 [14]

Let O be a set of sample objects, \mathcal{F} a set of the probe functions, \sim_{B_r} an indiscernibility relation, and $N_r(B)$ a collection of partitions. Then, $(O, \mathcal{F}, \sim_{B_r}, N_r(B))$ is called a weak nearness approximation space.

Theorem 2.1 [14]

Let $(O, \mathcal{F}, \sim_{B_r}, N_r(B))$ be a weak nearness approximation space and $X, Y \subset O$. Then the followings hold:

- i. $X \subseteq N_r(B)^*X$,
- ii. $N_r(B)^*(X \cup Y) = N_r(B)^*X \cup N_r(B)^*Y$,
- iii. $X \subseteq Y$ implies $N_r(B)^*X \subseteq N_r(B)^*Y$,
- iv. $N_r(B)^*(X \cap Y) \subseteq N_r(B)^*X \cap N_r(B)^*Y$.

Afterward, O means a $(O, \mathcal{F}, \sim_{B_r}, N_r(B))$ is weak near approximation spaces unless otherwise said.

Definition 2.3 [6]

Let S be a nearness semigroup. For all $x \in S$,

there exists an element $e \in N_r(B)^*S$ such that

$x \cdot e = e \cdot x = x$ hold, then (S, \cdot) is called a nearness monoid.

Definition 2.4 [6]

Let $S \subseteq O$. Then, S is called a semiring on weak near approximation spaces O if the following properties hold:

$NSR_1)$ $(S, +)$ is an abelian monoid on O with identity element 0 ,

$NSR_2)$ (S, \cdot) is a monoid on O with identity element 1_S ,

$NSR_3)$ for all $x, y, z \in S$ such that

$x \cdot (y + z) = (x \cdot y) + (x \cdot z)$ and $(x + y) \cdot z = (x \cdot z) + (y \cdot z)$ hold in $N_r(B)^*S$,

$NSR_4)$ for all $x \in S$ such that

$$0 \cdot x = 0 = x \cdot 0$$

hold in $N_r(B)^*S$,

$NSR_5)$ $1 \neq 0$.

Theorem 2.2 [6]

Let $(O, \mathcal{F}, \sim_{B_r}, N_r(B))$ be a weak nearness approximation space and $X, Y \subset O$. Then the followings hold:

- i. $(N_r(B)^*X) + (N_r(B)^*Y) \subseteq N_r(B)^*(X + Y)$
- ii. $(N_r(B)^*X) \cdot (N_r(B)^*Y) \subseteq N_r(B)^*(X \cdot Y)$.

Definition 2.5 [6]

Let S be a nearness semiring, and A is a non-empty subset of S .

- i. A is called a subsemiring of S , if $A + A \subseteq N_r(B)^*A$ and $A \cdot A \subseteq N_r(B)^*A$.
- ii. A is called an upper-near subsemiring of S , if $(N_r(B)^*A) + (N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*A$ and $(N_r(B)^*A) \cdot (N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*A$.

Definition 2.6 [6]

Let S be a nearness semiring, and A be a subsemigroup of S , where $A \neq S$.

- i. A is called a right (left) ideals of S , if $A \cdot S \subseteq N_r(B)^*A$ ($S \cdot A \subseteq N_r(B)^*A$).
- ii. A is called an upper-near right (left) ideals of S , if $(N_r(B)^*A) \cdot S \subseteq N_r(B)^*A$ ($S \cdot (N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*A$).

Definition 2.7 [15]

Let M be a semiring and A be a non-empty subset of semiring M .

If A is a subsemigroup of M and $BMB \subseteq B$, then B is called a bi ideal of M .

Definition 2.8 [13]

Let S be a nearness semiring and Q be non-empty subset of S , where $Q \neq S$. Q is called quasi-ideal of S if Q is a subnearness semigroup of S and $QS \cap SQ \subseteq N_r(B)^*Q$.

Lemma 2.1 [13]

Let S be a nearness semiring. If S is commutative, then each quasi-ideal of S is two-sided ideal of S .

3. Bi Ideals of Nearness Semirings

Definition 3.9

Let S be a nearness semiring and A is a subsemigroup of S , where $A \subseteq S$.

- i. A is called bi ideal of S if $AMA \subseteq N_r(B)^*A$.
- ii. A is called an upper-near bi ideal of S if $(N_r(B)^*A)S(N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*A$.

Example 3.1

Let $\mathcal{O} = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j\}$ be a set of perceptual objects where $r = 1$, $B = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3\} \subseteq \mathcal{F}$ be a set of probe functions. Let $S = \{c, d, e, f\} \subset \mathcal{O}$. Probe functions' values

$$\begin{aligned} \varphi_1: \mathcal{O} &\rightarrow V_1 = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5\}, \\ \varphi_2: \mathcal{O} &\rightarrow V_2 = \{\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6\}, \\ \varphi_3: \mathcal{O} &\rightarrow V_3 = \{\alpha_2, \alpha_4, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8\} \end{aligned}$$

are presented in the following table:

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
φ_1	α_1	α_2	α_3	α_2	α_3	α_4	α_2	α_1	α_1	α_5
φ_2	α_2	α_3	α_2	α_4	α_3	α_4	α_5	α_2	α_6	α_5
φ_3	α_2	α_4	α_6	α_6	α_7	α_7	α_2	α_4	α_8	α_8

Now, we find the near equivalence classes according to the indiscernibility relation \sim_{B_r} of elements in \mathcal{O} :

$$\begin{aligned} [a]_{\varphi_1} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(a) = \alpha_1\} = \{a, h, i\} = [h]_{\varphi_1} \\ &= [i]_{\varphi_1}, \\ [b]_{\varphi_1} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(b) = \alpha_2\} = \{b, d, g\} \\ &= [d]_{\varphi_1} = [g]_{\varphi_1}, \\ [c]_{\varphi_1} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(c) = \alpha_3\} = \{c, e\} \\ &= [e]_{\varphi_1}, \\ [f]_{\varphi_1} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(f) = \alpha_4\} = \{f\}, \\ [j]_{\varphi_1} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(j) = \alpha_5\} = \{j\}. \end{aligned}$$

Then, we have that $\xi_{\varphi_1} = \{[a]_{\varphi_1}, [b]_{\varphi_1}, [c]_{\varphi_1}, [f]_{\varphi_1}, [j]_{\varphi_1}\}$.

$$\begin{aligned} [a]_{\varphi_2} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(a) = \alpha_1\} = \{a, c, h\} \\ &= [c]_{\varphi_2} = [h]_{\varphi_2}, \\ [b]_{\varphi_2} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(b) = \alpha_3\} = \{b, e\} \\ &= [e]_{\varphi_2}, \\ [d]_{\varphi_2} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(d) = \alpha_4\} = \{d, f\} \\ &= [f]_{\varphi_2}, \\ [g]_{\varphi_2} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(g) = \alpha_5\} = \{g, j\} \\ &= [j]_{\varphi_2}, \\ [i]_{\varphi_2} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(i) = \alpha_6\} = \{i\}. \end{aligned}$$

We attain that $\xi_{\varphi_2} = \{[a]_{\varphi_2}, [b]_{\varphi_2}, [d]_{\varphi_2}, [g]_{\varphi_2}, [i]_{\varphi_2}\}$.

$$\begin{aligned} [a]_{\varphi_3} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(a) = \alpha_2\} = \{a, g\} \\ &= [g]_{\varphi_3}, \\ [b]_{\varphi_3} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(b) = \alpha_4\} = \{b, h\} \\ &= [h]_{\varphi_3}, \\ [c]_{\varphi_3} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(c) = \alpha_6\} = \{c, d\} \\ &= [d]_{\varphi_3}, \\ [e]_{\varphi_3} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(e) = \alpha_7\} = \{e, f\} \\ &= [f]_{\varphi_3}, \\ [i]_{\varphi_3} &= \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(i) = \alpha_8\} = \{i, j\} \\ &= [j]_{\varphi_3}. \end{aligned}$$

From here, we get that $\xi_{\varphi_3} = \{[a]_{\varphi_3}, [b]_{\varphi_3}, [c]_{\varphi_3}, [e]_{\varphi_3}, [i]_{\varphi_3}\}$. Consequently, a set of partitions of \mathcal{O} is $N_r(B) = \{\xi_{\varphi_1}, \xi_{\varphi_2}, \xi_{\varphi_3}\}$ for $r = 1$. Hence,

$$\begin{aligned} N_1(B)^*S &= \cup_{[x]_{\varphi_i} \cap S \neq \emptyset} [x]_{\varphi_i} \\ &= [b]_{\varphi_1} \cup [c]_{\varphi_1} \cup [f]_{\varphi_1} \cup [a]_{\varphi_2} \cup [b]_{\varphi_2} \cup \\ &[d]_{\varphi_2} \cup [c]_{\varphi_3} \cup [e]_{\varphi_3} \\ &= \{a, b, c, d, e, f, g, h\}. \end{aligned}$$

Taking operation tables for S in the following tables:

$+$	c	d	e	f
c	d	e	f	g
d	e	f	g	b
e	f	g	b	c
f	g	b	c	d

\cdot	c	d	e	f
c	c	d	e	f
d	d	f	b	d
e	e	b	e	b
f	f	d	b	f

In this case, $(S, +, \cdot)$ is a nearness semiring. Let take $A = \{d, e, f\}$ is subset of S .

$$N_1(B)^*A = \cup_{[x]_{\varphi_i} \cap Q \neq \emptyset} [x]_{\varphi_i} \\ = [b]_{\varphi_1} \cup [c]_{\varphi_1} \cup [f]_{\varphi_1} \cup [b]_{\varphi_2} \cup [d]_{\varphi_2} \cup [c]_{\varphi_3} \cup [e]_{\varphi_3} = \{b, c, d, e, f, g\}.$$

Since, A is a subsemigroup of S and $ASA \subseteq N_r(B)^*A$, A is a bi ideal of nearness semiring S .

Lemma 3.2

Let S be a nearness semiring and A be a non-empty subset of S . If S is commutative and $N_r(B)^*(N_r(B)^*A) = N_r(B)^*A$, then each quasi ideal of S is bi ideal of S .

Proof. Let S be a commutative nearness semiring and A be a quasi ideal of S . $ASA = (ASA) \cap (ASA) = A(SA) \cap (AS)A \subseteq S(SA) \cap (AS)S \subseteq (SS)A \cap A(SS)$ since S is a nearness semiring. Afterward, $(SS)A \cap A(SS) \subseteq N_r(B)^*SN_r(B)^*A \cap N_r(B)^*AN_r(B)^*S \subseteq N_r(B)^*(SA) \cap N_r(B)^*(AS)$ by Theorem 1 and Theorem 2.(ii). In this case, $N_r(B)^*(SA) \cap N_r(B)^*(AS) \subseteq N_r(B)^*(N_r(B)^*A) \cap N_r(B)^*(N_r(B)^*A) = N_r(B)^*(N_r(B)^*A) = N_r(B)^*A$ from Lemma 1. Hence, $ASA \subseteq N_r(B)^*A$ and A is a nearness bi ideal of S .

Theorem 3.3

Let S be a nearness semiring and A be a non-empty subset of S . Each right or left nearness ideal of S is a nearness bi ideal of S if $N_r(B)^*A$ is grupoid.

Proof. Let A be left nearness ideal of S . In this case, $SA \subseteq N_r(B)^*A$. Then, $ASA \subseteq A(SA) \subseteq (N_r(B)^*A)(N_r(B)^*A)$ by Theorem 1. Then, $(N_r(B)^*A)(N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*A$ since $N_r(B)^*A$ is grupoid. Hence, $ASA \subseteq N_r(B)^*A$ and A is a nearness bi ideal of S .

Similarly, A be right nearness ideal. In this way, $AS \subseteq N_r(B)^*A$. Then, $ASA \subseteq (AS)A \subseteq (N_r(B)^*A)(N_r(B)^*A)$ by Theorem 1. Thus, $(N_r(B)^*A)(N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*A$ since $N_r(B)^*A$ is grupoid. Afterward, $ASA \subseteq N_r(B)^*A$ and A is a nearness bi ideal of S .

Lemma 3.3

Let S be a nearness semiring and A be a non-empty subset of S . Every bi ideal of S is an upper-near bi ideal of S if $N_r(B)^*(N_r(B)^*A) = N_r(B)^*A$.

Proof. Let S be a nearness semiring and A is a bi ideal of S . $(N_r(B)^*A)S(N_r(B)^*A) \subseteq (N_r(B)^*A)(N_r(B)^*S)(N_r(B)^*A)$ by Theorem 1. Then, $(N_r(B)^*A)(N_r(B)^*S)(N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*(AS)N_r(B)^*A$ from Theorem 2.(ii). Again, by Theorem 2.(ii), $N_r(B)^*(AS)N_r(B)^*A \subseteq N_r(B)^*(ASA)$. Since A is a bi ideal of S , we get that $N_r(B)^*(ASA) \subseteq N_r(B)^*(N_r(B)^*A) = N_r(B)^*A$. Hence, $(N_r(B)^*A)S(N_r(B)^*A) \subseteq N_r(B)^*A$ and A is an upper-near bi ideal of S .

Corollary 3.1

Let S be a nearness semiring. If S is commutative and $N_r(B)^*(N_r(B)^*A) = N_r(B)^*A$, then each quasi ideal is an upper-near bi ideal.

Example 3.2

Let $\mathcal{O} = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j\}$ be a set of perceptual objects where $r = 1$, $B = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3\} \subseteq \mathcal{F}$ be a set of probe functions. e-ISSN: 2148-2683

Let $S = \{c, d, e, f\} \subset \mathcal{O}$. Probe functions' values

$$\varphi_1: \mathcal{O} \rightarrow V_1 = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5\}, \\ \varphi_2: \mathcal{O} \rightarrow V_2 = \{\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6\}, \\ \varphi_3: \mathcal{O} \rightarrow V_3 = \{\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6\}$$

are presented in the table below:

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
φ_1	α_1	α_2	α_3	α_3	α_2	α_4	α_4	α_1	α_4	α_5
φ_2	α_4	α_1	α_4	α_4	α_3	α_3	α_1	α_5	α_6	α_5
φ_3	α_2	α_3	α_2	α_3	α_4	α_5	α_4	α_6	α_6	α_6

Now, we find the near equivalence classes according to the indiscernibility relation \sim_{B_r} of elements in \mathcal{O} :

$$[a]_{\varphi_1} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(a) = \alpha_1\} = \{a, h\} \\ = [h]_{\varphi_1}, \\ [b]_{\varphi_1} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(b) = \alpha_2\} = \{b, e\} \\ = [e]_{\varphi_1}, \\ [c]_{\varphi_1} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(c) = \alpha_3\} = \{c, d\} \\ = [d]_{\varphi_1}, \\ [f]_{\varphi_1} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(f) = \alpha_4\} = \{f, g, i\} = [g]_{\varphi_1} \\ = [i]_{\varphi_1}, \\ [j]_{\varphi_1} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_1(x) = \varphi_1(j) = \alpha_5\} = \{j\}.$$

Then, we have that $\xi_{\varphi_1} = \{[a]_{\varphi_1}, [b]_{\varphi_1}, [c]_{\varphi_1}, [f]_{\varphi_1}, [j]_{\varphi_1}\}$.

$$[a]_{\varphi_2} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(a) = \alpha_4\} = \{a, c, d\} \\ = [c]_{\varphi_2} = [d]_{\varphi_2}, \\ [b]_{\varphi_2} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(b) = \alpha_1\} = \{b, g\} \\ = [g]_{\varphi_2}, \\ [e]_{\varphi_2} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(e) = \alpha_3\} = \{e, f\} \\ = [f]_{\varphi_2}, \\ [h]_{\varphi_2} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(h) = \alpha_5\} = \{h, j\} \\ = [j]_{\varphi_2}, \\ [i]_{\varphi_2} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_2(x) = \varphi_2(i) = \alpha_6\} = \{i\}.$$

We attain that $\xi_{\varphi_2} = \{[a]_{\varphi_2}, [b]_{\varphi_2}, [e]_{\varphi_2}, [h]_{\varphi_2}, [i]_{\varphi_2}\}$.

$$[a]_{\varphi_3} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(a) = \alpha_2\} = \{a, c\} \\ = [c]_{\varphi_3}, \\ [b]_{\varphi_3} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(b) = \alpha_3\} = \{b, d\} \\ = [d]_{\varphi_3}, \\ [e]_{\varphi_3} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(e) = \alpha_4\} = \{e, g\} \\ = [g]_{\varphi_3}, \\ [f]_{\varphi_3} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(f) = \alpha_5\} = \{f\}, \\ [h]_{\varphi_3} = \{x \in \mathcal{O} | \varphi_3(x) = \varphi_3(h) = \alpha_6\} = \{h, i, j\} \\ = [i]_{\varphi_3} = [j]_{\varphi_3}.$$

From here, we get that $\xi_{\varphi_3} = \{[a]_{\varphi_3}, [b]_{\varphi_3}, [e]_{\varphi_3}, [f]_{\varphi_3}, [h]_{\varphi_3}\}$. Consequently, a set of partitions of \mathcal{O} is $N_r(B) = \{\xi_{\varphi_1}, \xi_{\varphi_2}, \xi_{\varphi_3}\}$ for $r = 1$. Hence,

$$N_1(B)^*S = \bigcup_{[x]_{\varphi_i} \cap S \neq \emptyset} [x]_{\varphi_i}$$

$$= [b]_{\varphi_1} \cup [c]_{\varphi_1} \cup [a]_{\varphi_2} \cup [b]_{\varphi_2} \cup [e]_{\varphi_2} \cup [a]_{\varphi_3} \cup [b]_{\varphi_3} \cup [b]_{\varphi_3} = \{a, b, c, d, e, f, g\}.$$

Taking operation tables for S in the tables below:

+	b	c	d	e
b	c	d	e	f
c	d	e	f	g
d	e	f	g	a
e	f	g	a	b

.	b	c	d	e
b	b	c	d	e
c	c	e	g	b
d	d	g	c	f
e	e	b	f	c

In this case, $(S, +, \cdot)$ is a nearness semiring. Let take $M = \{b, c, d\}$ is subset of S .

$$N_1(B)^*M = \bigcup_{[x]_{\varphi_i} \cap Q \neq \emptyset} [x]_{\varphi_i}$$

$$= [b]_{\varphi_1} \cup [c]_{\varphi_1} \cup [a]_{\varphi_2} \cup [b]_{\varphi_2} \cup [a]_{\varphi_3} \cup [b]_{\varphi_3} = \{a, b, c, d, e, g\}.$$

Since $f \in MSM$ and $f \notin N_r(B)^*M$, $MSM \not\subseteq N_r(B)^*M$. Thus, M is not a bi ideal of nearness semiring S .

Theorem 3.4

Let S be a nearness semiring. If S is commutative and $N_r(B)^*(N_r(B)^*A) = N_r(B)^*A$, then the product of two quasi ideals of S is a bi ideal of S .

Proof. Let A_1 and A_2 be quasi ideals of S . We show that $(A_1A_2)S(A_1A_2) \subseteq N_r(B)^*(A_1A_2)$.

We attain that $(A_1A_2)S(A_1A_2) \subseteq (A_1A_2)S(SA_2) \subseteq (A_1A_2)S(N_r(B)^*A_2)$ from Lemma 1. Afterward, $(A_1A_2)S(N_r(B)^*A_2) = A_1A_2S(N_r(B)^*A_2) \subseteq (N_r(B)^*A_1)(N_r(B)^*A_2)S(N_r(B)^*A_2) \subseteq (N_r(B)^*A_1)(N_r(B)^*A_2)$ by Corollary 1.

In this case, $(N_r(B)^*A_1)(N_r(B)^*A_2) \subseteq N_r(B)^*(A_1A_2)$ by Theorem 2.(ii). Hence, $(A_1A_2)S(A_1A_2) \subseteq N_r(B)^*(A_1A_2)$ and the product of two quasi ideals of S is a bi ideal of S .

Definition 3.10

Let S be a nearness semiring. A is called nearness m -bi ideal of S if A is subsemigroup of S and $AS^mA \subseteq N_r(B)^*A$, where m is positive integer and not necessarily 1.

Definition 3.11

Let S be a nearness semiring. Q is called nearness (m, n) -quasi ideal of S if Q is subsemigroup of S and $QS^m \cap S^nQ \subseteq N_r(B)^*Q$, where m, n are positive integers.

Theorem 3.5

Let S be a nearness semiring. Each nearness $(m + 1, m + 1)$ -quasi ideal of S is m -bi ideal of S .

Proof. Let S be a nearness semiring and A be a $(m + 1, m + 1)$ -quasi ideal of S . In this case, it is attained that $AS^mA \subseteq AS^mS = AS^{m+1}$ and $AS^mA \subseteq SS^mA = S^{m+1}A$. Thus, $AS^mA \subseteq AS^{m+1} \cap S^{m+1}A$. Since A is a $(m + 1, m + 1)$ -quasi ideal of S , we get that $AS^mA \subseteq AS^{m+1} \cap S^{m+1}A \subseteq N_r(B)^*A$. Hence $AS^mA \subseteq N_r(B)^*A$ and A is m -bi ideal of S .

4. Conclusion

As a recent study of nearness semirings, it is defined that the notion of bi ideals in nearness semirings. Afterward, it is explained that some of the concepts and definitions and an example is given with related to the subject. Furthermore, it is given that the definition of nearness m -bi ideals and nearness (m, n) -quasi ideals. And, it is examined that the relationship between them. We believe that these properties will be more useful theoretical development for nearness semiring theory.

5. References

- [1] Pawlak, Z. (1982). Rough sets, *Int. J. Comput. Inform. Sci.* 11 (5), 341–356,
- [2] Peters, J. F. (2007). Near sets, General theory about nearness of objects, *Appl. Math. Sci.* 1 (53-56), 2609–2629.
- [3] Peters, J. F. (2007). Near sets, Special theory about nearness of objects, *Fund. Inform.* 75 (1-4), 407–433.
- [4] Peters, J. F. (2013). Near sets: An introduction, *Math. Comput. Sci.* 7 (1),3–9
- [5] İnan, E. and Öztürk, M. A. (2012). Near groups on nearness approximation spaces, *Hacet. J. Math. Stat.* 41 (4), 545-558.
- [6] Öztürk, M. A. (2018) Semiring on weak nearness approximation spaces, *Ann. Fuzzy Math. Inform*, 15(3), 227-241.
- [7] Öztürk, M. A. And Temur, İ. (2019). Prime ideals of nearness semirings, *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Ser. A1 Math. Stat.* 68(2),1867-1878.
- [8] Öztürk, M. A. and Bekmezci, İ.H. (2020). Gamma nearness semirings, *Southeast Asian Bull. Math.* 44(4), 567-586.
- [9] Vandier, H.S.(1934). Note on a simple type of algebra in which cancellation law of addition does not hold, *Bull. Am. Math. Soc.*, 40(12),914-920.
- [10] Shabir, A. M and Batod, A. (2004). A note on quasi ideal in semirings, *Southeast Asian Bull. Math.*, 27(5), 923-928.
- [11] Good, R.A. and Hughes, D.R.(1952). Associated groups for a semigroups, *Bull. Am. Math. Soc.*, 58 (6), 624-625.
- [12] Lajos, S. and Szasz, F.A. (1970) On the bi-ideals in associative ring, *Proc. Japan Acad.*, 46 (6), 505-507.
- [13] Tekin, Ö. (2021). Quasi Ideals of Nearness Semirings, *Cumhuriyet Sci. J.* 42(2), 333-338.
- [14] Öztürk, M. A., Jun, Y. B. and İz, A. (2019). Gamma semigroups on weak nearness approximation spaces, *J. Int. Math. Virtual Inst.* 9 (1), 53-72.
- [15] El-Madhoun, N. R. (2007). Quasi ideals and bi-ideals on semigroups and semirings, MSc Thesis, Department of Mathematics, Faculty of Science, The Islamic University of Gaza.
- [16] Golan, J. S. (1999). Semirings and Their Applications, Kluwer Academic Publishers.



The Effect of Homogenization and Chemical Compositions of 6005 and 6082 Aluminium Alloys on the Cold Forming Process

Havva Demirpolat^{1*}, Seracettin Akdı², Bülent Alkan³

^{1*} Selçuk Üniversitesi, Faculty of Teknoloji, Department of Mechanical Engineering, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2981-9867), hdemirpolat@selcuk.edu.tr

² Akdı Mühendislik, Innopark Teknoloji Geliştirme Bölgesi, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4814-8982), info@akdimuhendislik.com

³ Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgy and Materials, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1048-7986), bulentalkan@hitit.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.973063)

ATIF/REFERENCE: Demirpolat, H., Akdı, S., Alkan, B. (2021). The Effect of Homogenization and Chemical Compositions of 6005 and 6082 Aluminium Alloys on the Cold Forming Process. *European Journal of Science and Technology*, (28), 16-20.

Abstract

Aluminium alloys are one of the most preferred materials in the automotive industry due to their properties such as easy recyclability, easy formability and high specific strength. 6XXX alloys are especially used in automotive parts due to their good mechanical properties such as high corrosion and high fatigue strength. 6XXX alloys are cast as billets or ingots by continuous casting methods. The alloys are subjected to homogenization heat treatment and shaped by extrusion, respectively. During extrusion forming, fibers are formed in the profile in the direction of extrusion. It has been observed that the coarseness of these fibers formed in the extrusion process causes undesirable deep tears, cracks and distortion of surface when the aluminium profiles are subjected to the cold forming process. In this study, cracking and surface deformations are completely eliminated that occurred after cold forming thanks to alloy improvements and heat treatment. The cold forming process is modeled with the finite element method in order to control surface deformations due to cold forming. Alloy enhancement and homogenization heat treatment applied samples were subjected to cold forming process. As a result, the homogenization heat treatment applied to the part produced from the alloy with improved chemical composition eliminated the deep tears, residual stresses and invisible heterogeneities in the grain structure.

Keywords: Cold forming, Aluminium alloy, 6082, 6005, Heat treatment

6005 ve 6082 Alüminyum Alaşımlarının Homojenizasyon ve Kimyasal Bileşimlerinin Soğuk Şekillendirmeye Etkisi

Öz

Alüminyum alaşımları kolay geri dönüştürülebilirlik, kolay şekillendirilebilirlik ve yüksek özgül mukavemet gibi özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde en çok tercih edilen malzemelerdendir. 6XXX alaşımları, yüksek korozyon ve yüksek yorulma mukavemeti gibi iyi mekanik özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv parçalarında kullanılmaktadır. 6XXX alaşımları sürekli döküm yöntemleriyle biyet veya ingot olarak dökülmektedir. Alaşımlar sırasıyla homojenizasyon ısı işlemine tabi tutulur ve ekstrüzyonla şekillendirilir. Ekstrüzyon şekillendirme sırasında, ekstrüzyon yönünde lifler oluşabilmektedir ve ekstrüzyon işleminde oluşan bu liflerin kabalığının, alüminyum profiller soğuk şekillendirme işlemine tabi tutulduğunda istenmeyen derin yırtılmalara, çatlaklara ve yüzeyde bozulmalara neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, alaşımdaki kimyasal bileşimlerin ve uygulanan homojenizasyon ısı işleminin soğuk şekillendirme sonrası oluşan çatlama ve yüzey deformasyonlarına etkisi gözlenmiştir. Soğuk şekillendirmeden kaynaklanan yüzey deformasyonlarını kontrol etmek için soğuk şekillendirme işlemi sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Alaşım geliştirme ve homojenizasyon ısı işlemi uygulanan numuneler soğuk şekillendirme işlemine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, geliştirilmiş kimyasal bileşime sahip alaşımdan üretilen parçaya uygulanan homojenizasyon ısı işlemi, tane yapısındaki derin yırtıkları, artık gerilmeleri ve gözle görülmeyen heterojenlikleri ortadan kaldırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk Şekillendirme, Alüminyum alaşımlar, 6082, 6005, Isıl İşlem

*Sorumlu Yazar: hdemirpolat@selcuk.edu.tr

1. Introduction

An important goal of automobile industry is developing light and high-strength alloys without sacrificing safety and comfort. In addition to being light and durable aluminium alloys have highly important useful area for fuel saving in the automotive industry. Apart from design changes in vehicles, the only method that can reduce weight is to use lighter materials in automobile manufacturing. AA 6XXX or Al-Mg-Si aluminium alloys series are widely used in the automotive industry thanks to their lightness, good corrosion resistance, high strength and good formability. 6082 and 6005 alloys are especially used as a wrought alloys in extrusion and forging. [1]. AA 6082 and AA6005 are aluminium alloys which β -Al₅FeSi, α -Al₁₂(Fe_xMn_(1-x))₃Si phases and Mg₂Si particles formed during solidification on extrusion process. Also this phases effected on extrusion process, the surface quality of the material and workability.[2,3] The melting of the β -Al₅FeSi phase during extrusion causes poor surface quality. Phase transformation of β -Al₅FeSi into α -Al₁₂(Fe_xMn_(1-x))₃Si particles with higher Fe/Si ratio occurs with the homogenization process. [4-8,10] Thanks to the homogenization process it is enabled to reduce the Mg and Si concentrations local melting risks during rolling or extrusion process. In addition, the spheroidization of α particles that will give better extrusion properties and surface finish takes place with homogenization. [3,4,7,9,10].When AlMgSi alloys contains precipitating elements such as manganese, chromium, and zirconium that phases precipitate at high temperature (approximately 500°C) can be formed during the homogenization process. These precipitate ensure the preservation of the fibrous structure during the extrusion process. This infrastructure causes the increase in strength to be higher with the subsequent aging process. [11]

If aluminium alloys are exposed to thermo-mechanical effects, the grain structure changes physically. First grain structure recrystallizes and then grain grows. Mainly, recrystallizes mechanism is based on amount of β -AlFeSi phases in solution. For this reason, the process should be designed for the desired high strength, to prevent partial crystallization or to give a fine thread-like grain structure throughout. [12]. Much more Si used than Mg can bind to increase the aging hardening capacity in the 6082 alloy. Also Mn used to control the grain structure. In this case, the strength depends on the composition and process conditions [10-13]. The most important factor in material structure is grain size. As the grain size gets thinner, fracture toughness and ductility increase. Generally, deformation rate is proportional to ductility. At low temperature affects deformation hardening, while at high temperatures the rate of deformation is effective. As a result of deformation; recovery, recrystallization and grain growth mechanism occurs. The event that occurs during the annealing process as a result of cold deformation is recovery and recrystallization. The recrystallization, which starts with temperature and deformation energy at the grain boundaries, covers the whole structure with deformation and temperature, and then the structure recrystallizes creates grain growth at the annealing temperature. [13]

2. Material and Method

2.1. Experimental method

The chemical compositions of the aluminium profiles used in the study is given in Table 1. Microstructure analysis was performed to compare the fibers formed in the extrusion direction. Samples were taken from its vertical sections. Samples were prepared with standard metallographic methods. Polished with 3 μ m diamond suspension solution and then finished colloidal silica. They were etched with %0.5 HF acid etching solution. Microstructural features of the samples were obtained in Fig1. Samples were prepared with standard metallographic methods for macro etching by taking horizontal and vertical sections from AA6005 and AA6082 aluminium profiles. They were etched with acid solution which compound HCL, HF, HNO₃ and pure water. Both of horizontal and vertical sections for AA6005 and AA6082 macrostructure images of are given in Figure 2.a-d The macrostructure analysis of the part from AA6082 alloy and applied homogenization was performed but no significant difference was observed in the macro structure before and after homogenization. For this reason the macro structure image of the homogenized AA6082 is not given. Finally, cold forming process was applied to the parts with the help of a hydraulic press as seen in Fig 3. Homogenization process was applied to only 6082 alloy. Homogenization process was applied at 580°C and conducted for 8 hours in protherm furnace. The samples were cooled with air conditions. 6005 alloy cannot homogenized due to its low strength as seen in Table2.

Table 1. The chemical composition of the aluminium profiles (wt.%)

Alloy	% Si	% Mn	% Cu	% Mg	% Cr	% Fe
AA 6005	0.78	0.06	0.06	0.61	0.05	0.20
AA 6082	1.03	0.61	0.07	0.76	0.20	0.21

Table 2. Hardness comparison of materials made of AA6082 alloy and AA6082 alloy

Material	Brinell Hardness(HB)
AA6005	36,46
AA6082	97,63
AA6082+Homogenization	45,13

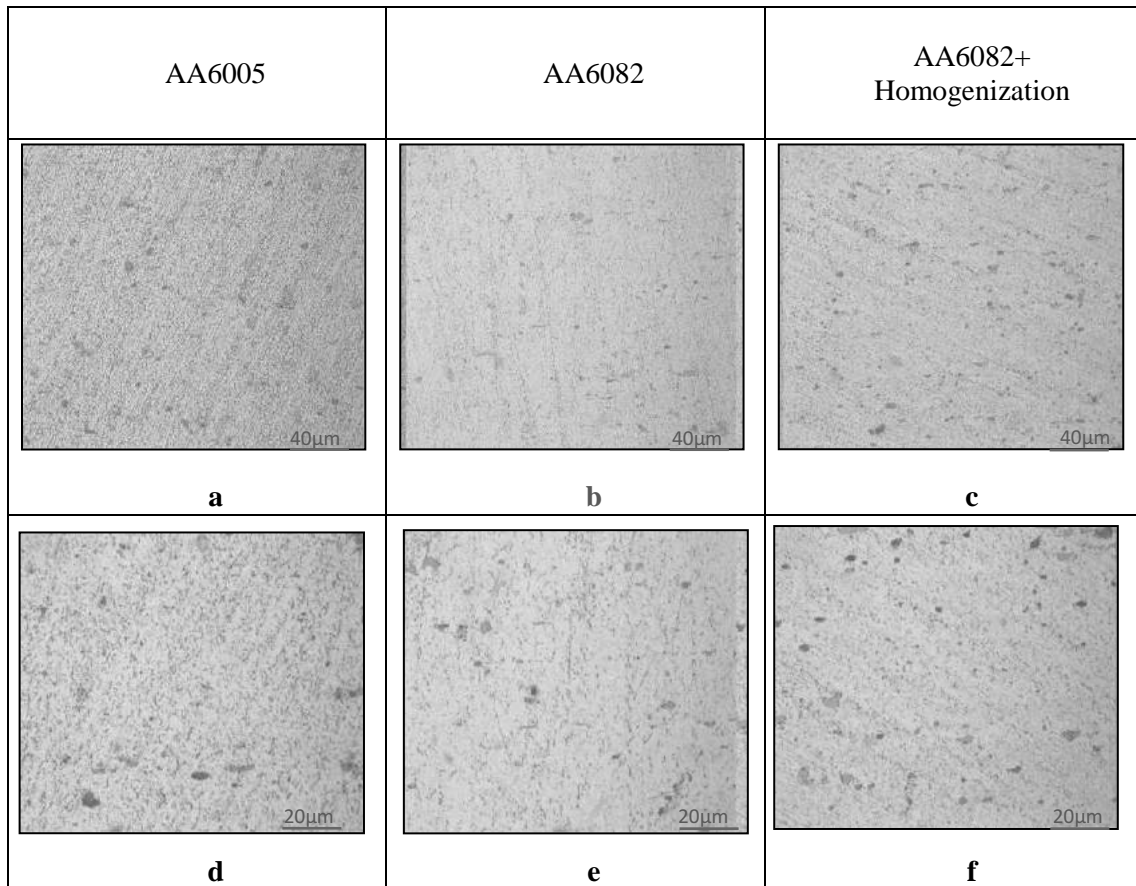


Figure1. Microstructural features of samples

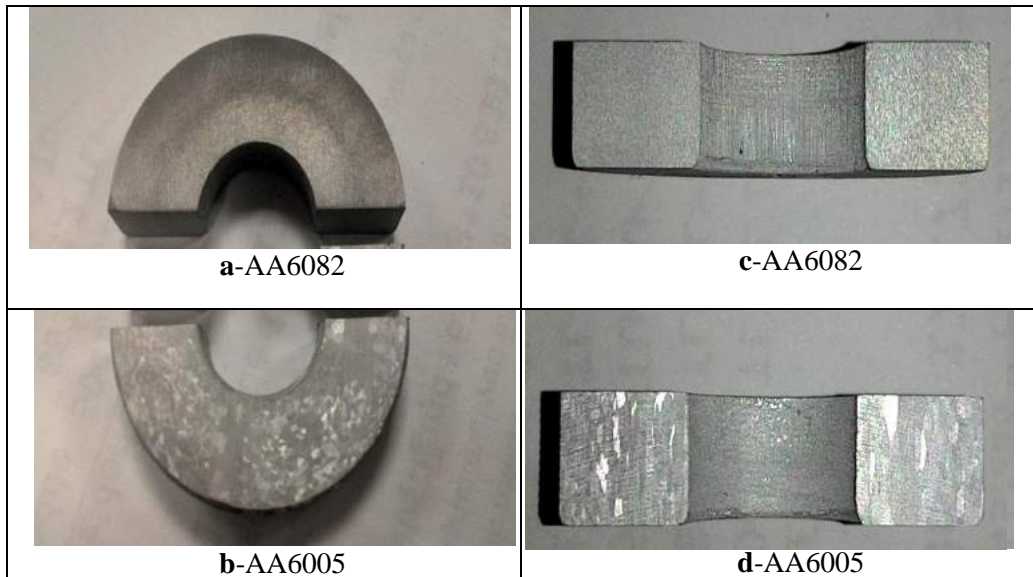


Figure 2.a-Macrostructure images of horizontal sections for AA6082 b- Macrostructure images of horizontal sections for AA6005 c- Macrostructure images of vertical sections for AA6082 d- Macrostructure images of vertical sections for AA6005



Fig 3. Macrostructure features of samples after cold forming process (a. AA6005, b. AA6082, c. AA6082+homogenization)

3. Results and Discussion

An experimental study was conducted to solve an industrial problem of cold forming. It is very clearly seen that thermo-mechanical applications highly effected on wrought alloy especially 6XXX series. During extrusion forming, fibers are formed in the profile in the direction of extrusion as seen in Fig1. It has been observed that the coarseness of these fibers formed in the extrusion process causes undesirable deep tears, cracks and distortion of surface when the aluminium profiles are subjected to the cold forming process. It is seen in Fig.4 cubic intermetallic compound particles detected with XRD analysis in EN AW 6082 extrusion profile.. This intermetallic compounds consist of mainly large-size phase Mg, Si, Mn an Fe.

AA 6082 and AA 6005 are alloys which contains different percentage value of Si, Mg and Mn seen in Table 1. According to the 6005 alloy standard,% Mg can be between 0.4 and 0.6, while experimental sample value is 0.6. The most important difference between AA6005 and AA6082 is the% Mn value. The Mn value is 0,06 at 6005 whereas 0,61 of Mn at 6082. In 6XXX alloys, manganese (Mn) forms the fragile phase AlFe(Mn)Si. These fine needle-like and dark black phases are seen in the microstructures in Figure 1. It is seen that in Fig.1 matrix alpha aluminium is more clear in the 6005 alloy, depending on the deposited secondary phases. Although there is a chemical difference between 6082 and 6005, this clear Al matrix shows that the 6005 alloy is not homogenized at a sufficient level. In Figure 1,if 6082 and homogenized 6082 are compared, it is seen that the density of secondary phases deposited in the homogenized alloy is higher. This condition can be explained by the matrix that becomes a supersaturated solution by homogenization. Generally homogenization practice used for AA 6082 alloy is to hold this at a temperature between 540°C and 580°C for up to 8 h. One of the DSC schematic that for alloy AA6082, is shown in Fig. 5. First exothermic peaks are related with Mg-Si piles. In this way lowest solutionizing point in the samples was indicated. β -Mg₂Si phases are started the solutionizing about 450°C at the initial of endothermic peak as seen in Fig.5. Homogenization temperatures are determinate by solidus temperature of Al MgSi(Mn) aluminium alloys. The amount of precipitated phases decreased with relatively high temperature heat treatment on AA6082 was observed. In this way, the transformation of $\beta \rightarrow \alpha$

phases takes place completely in AA6082.The phase transformation starts at a lower temperature in 6082 than in 6005 in Ref.[10]

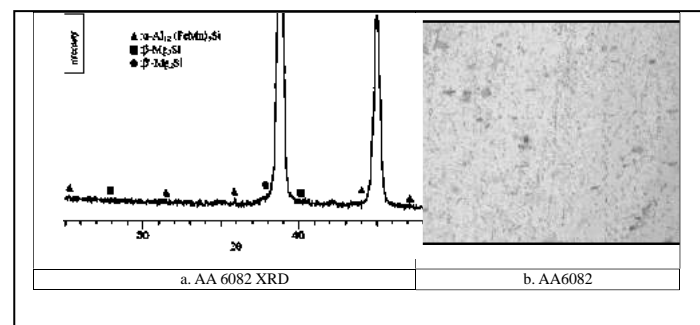


Fig 4 . a.XRD spectrum of AA 6082 sample b.Microstructure of AA 6082 sample

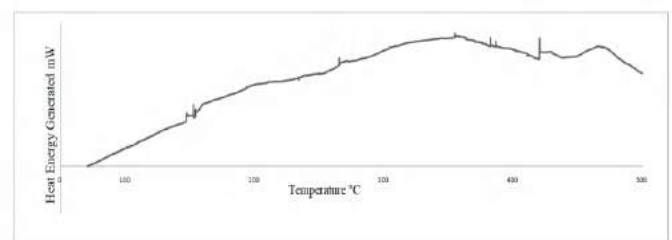


Fig 5 . DSC Trace for AA6082 samples

4. Conclusions and Recommendations

Macro structures of AA6005 alloy and AA6082 alloy for 2 different axes is shown in Figures 2a and 2b. Extremely coarse grains is seen in the AA6005 alloy due to thermo-mechanical effects. This indicates that there is not enough homogenization to the AA6005 alloy. In the production, AA6005 extruded alloys with 36 HB hardness are currently used and as a result of the cold forming disruption occurs on the material surface. It has

been detected, the AA6005 alloys are not suitable for homogenization due to the grain coarsening mechanism and low hardness values. AA6082 alloys with 98 HB hardness are also broken during cold forming. This circumstances creates a problem in terms of usage and workability. High forces are needed to cold forming process. When the 6082 alloy was homogenized not only hardness was reduced but also phase transformations within the structure were achieved. No damage and no distortion was observed on the surface of the materials formed after the homogenization heat treatment. In cold forming, for easy and suitable forming of 6XXX alloys, homogenization heat treatment should be done at temperatures and times determined specifically for the each alloy. The transformation of β -AlFeSi phases into α -AlFeSi phase by homogenization process directly affects the cold forming ability of the AA6082 alloy.

5. Acknowledge

"The named authors have no conflict of interest, financial or otherwise."

References

- [1] Standart Specification for Aluminium Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profiles and Tubes. ASTM, Designation: B221M-12a
- [2] Zhouli Xu, Huijuan Ma, Ning Zhao, and Zhili Hu , Investigation on Compressive Formability and Microstructure Evolution of 6082-T6 Aluminum Alloy, *J. of Metals*, 10, 469-480, (2020)
- [3] Saha Pradip K., Aluminium extrusion technology, Materials Park, OH 44073-0002, ISBN: 0-87170-644-X, pp(136-138), (2000)
- [4] Birol Y., The effect of homogenization practice on the microstructure of AA6063 billets, *Journal of Materials Processing Technology*, 148(2):250-258, (2004)
- [5] Beatty E.C., Proceedings of the First International Aluminium Extrusion Technology Seminar, Paper no. 10, Aluminium Association, Washington, DC, 1969.
- [6] Mrówka-Nowotnik, G., Sieniawski, J., Wierzbińska, M.. Intermetallic phase particles in 6082 aluminium alloy, *Archives of Materials Science and Engineering* 282, 69-76, (2007).
- [7] Kuijpers N.C.W., Tirel J., Hanlon, Zwaag D.N. S., Quantification of the evolution of the 3D intermetallic structure in a 6005A aluminium alloy during a homogenisation treatment, *Materials Characterization*, 48 pp. 379-392, (2002)
- [8] T. Smith, Reilly K. O', Kumar S., I. Stone, Influence of Grain-Refiner Addition on the Morphology of Fe-Bearing Intermetallics in a Semi-Solid Processed Al-Mg-Si Alloy, *Metallurgical and Materials Transactions.*, 44A, pp. 4866-4871, (2013)
- [9] Dons A.L., The Alstruc homogenization model for industrial aluminum alloys, *Journal of Light Metals.*, 1 pp. 133-149, (2001)
- [10] Bayata N., Cieslarb M., In-situ study of phase transformations during homogenization of 6005 and 6082 Al alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 725, 25, Pp 504-509, (2017)
- [11] M. Çiğdem and Y. Erarslan "The Effect of Mould Lubrication on The Surface And Subsurface Quality of Semi Continuously DC cast Al-6063 alloy billets" *Practical Metallography*, 34, 11, 555-573,(1997)
- [12] Yucel B. The effect of processing and Mn content on the T5 and T6 properties of AA6082 Profiles, *Journal of Materials Processing Technology* 173, 84–91,(2006)
- [13] J. Van Rijkom, W.S. Miller, Proc. 6th International Aluminium Extrusion Technology Seminar, Vol. 1, Aluminium Association, , 149-155 Washington, DC, (1996)



Synthesis and Characterization of Fe/SBA-15 Heterogeneous Catalysts for Methyl Acetate Production

Veli Şimşek

Bilecik Seyh Edebali University, Chemical Engineering Department, 11210 Bilecik, Turkey (0000-0002-3518-1572) (veli.simsek@bilecik.edu.tr).

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.977591)

ATIF/REFERENCE: Şimşek, V. (2021). Synthesis and Characterization of Fe/SBA-15 Heterogeneous Catalysts for Methyl Acetate Production. *European Journal of Science and Technology*, (28), 21-28.

Abstract

In the present study, the synthesis of SBA-15 (Santa Barbara Amorphous) support material (SPm) was initially carried out with the method determined according to the literature research. The catalytic property of SBA-15 was imparted by the hydrothermal method (HtM), different from the traditionally applied impregnation method. In this method, the active substance (iron III oxide; Fe_2O_3) was added to the solution during the synthesis of the SPm. The amount of active substance in the synthesized catalysts was calculated based on the mass ratios of silicon (Si) in SBA-15 and iron (Fe) in Fe_2O_3 . The active substance ratios in the catalysts were determined as 10, 25% Fe/Si. The activities of Fe/SBA-15 catalysts were tested in methyl acetate production (MAP). MAP reaction experiments were carried out in the presence of 0.4g catalyst (Fe/SBA-15), 373K, in autogenous pressure and 2/1 Acetic acid(AA)/methanol(MeOH) feed rate for 48 hours. The effects of active substance loading rate on AA conversion were determined. The structural properties of Fe/SBA-15 catalysts were investigated by XRD, BET, FTIR/DRIFT, SEM/EDX, and MAPPING analysis methods.

Keywords: Fe, SBA-15, Methyl acetate, Hydrothermal, Characterization.

Metil Asetat Üretimi İçin Fe/SBA-15 Heterojen Katalizörlerin Sentezi ve Karakterizasyonu

Öz

Sunulan bu çalışmada ilk olarak SBA-15(Santa Barbara Amorphous) destek maddesinin sentezi, literatür araştırmasına göre belirlenen yöntemle gerçekleştirilmiştir. SBA-15 maddesine katalitik özellik, geleneksel olarak uygulanan emdirme yönteminden farklı olarak, hidrotermal yöntemle(HtM) kazandırılmıştır. Bu yöntemde, aktif madde (demir III oksit ; Fe_2O_3) destek madde sentezi sırasında çözeltiliye eklenerek gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen katalizörlerdeki aktif madde miktarı, SBA-15'teki silisyumun (Si) ve Fe_2O_3 içerisindeki demirin (Fe) kütlece oranları baz alınarak hesaplanmıştır. Katalizörler içerisindeki aktif madde oranları %10, 25 Fe/Si olarak belirlenmiştir. Fe/SBA-15 katalizörlerin aktiviteleri, metil asetat üretiminde (MAÜ) test edilmiştir. MAÜ reaksiyon deneyleri, 373K, 0.4g katalizör(Fe/SBA-15) varlığında, otojenik basınçta ve 2/1 Asetik asit(AA)/metanol(MeOH) besleme oranında 48 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Aktif madde yükleme oranının AA dönüşümü üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Fe/SBA-15 katalizörlerinin yapısal özellikleri ise XRD, BET, FTIR/DRIFT, SEM/EDX ve MAPPING analiz yöntemleriyle incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fe, SBA-15, Metil asetat, Hidrotermal, Karakterizasyon.

1. Introduction

Recently, the discovery by mobile researchers of silica-derived and metal-containing M41S materials, these materials have attracted the attention of scientists due to their mesopores, homogeneous pore size distribution, and high surface areas, both as a support for catalysts and as adsorption and separation (Şimşek, 2015). Their use as catalysts in fields attracts attention. Nowadays, silica-based support materials (SiBSMs) (such as SBA-15, SBA-16, MCM-41, and MCM-48) widely use synthesis of heterogeneous acidic catalysts (HeACs) (Şimşek, 2015; Şimşek & Avcı, 2018; Şimşek & Şahin, 2019).

Homogeneous acidic catalysts (HoACs) and HeACs are used in industrial-scale ester production. They used in the esterification reactions catalyze the reaction by giving a proton to the carboxylic acid (R-COOH) (Maki-Arvela et al., 1999; De Almeida et al., 2014). Homogeneous catalysts (HoCs) are generally used in esterification reactions (ERs) (Yin et al., 2013) such as HI (hydriodic acid), H₂SO₄ (sulfuric acid), HCl (hydrochloric acid) and NaOH (sodium hydroxide), and (Yin et al., 2013; Helminen et al., 1998; Poonjarersilp et al., 2014; Oliviera et al., 2010). Recently, but, interest in heterogeneous catalysts (HeCs) has been intensified because HoCs dissolve quickly in the liquid reaction medium, cause corrosion, environmental pollution, do not easily decompose from the product, and require a separation process (Yin et al., 2013; Oliviera et al., 2010). for re-used. Among the SiBSMs, SBA-15 (Hess, 2009; Cavalleri et al., 2009) and M41S family (Brahmkhatri & Patel, 2011; Sawant, et al., 2007; Liu et al., 2004; Kumar et al., 2006) are the most well-known. Impregnation (Brahmkhatri & Patel, 2011; Sawant, et al., 2007; Liu et al., 2004; Kumar et al., 2006), dry-wet impregnation (Şimşek & Mürtezaoğlu, 2019) and sol-gel (Yang, et al., 2005) methods are widely used in the synthesis of supported mesoporous materials and HeCs (solid catalysts). However, recently, direct HM has come to the forefront as an alternative synthesis method in studies where heteropoly acid catalysts (Fulvio et al., 2005) metals (Jimenez et al., 2010; Laugel et al., 2009) are used as active substances. Because HM has some advantages such as a homogeneous solution media for precursors, low material loss after synthesis procedure, low cost, and easy experiment properties or set up (Şimşek, 2019; Senapati & Maiti, 2020).

The sieve structure of SBA-15 has larger pore sizes and thicker pore walls compared to the M41S family (Şimşek, 2015; Thieleman et al., 2011). SBA-15 is a mesoporous silica sieve with adjustable pore diameters between 5 and 15 nm and a hexagonal structure with a narrow pore distribution. The fact that the wall frame thickness is between 3.1 and 6.4 nm is one of the main reasons for its higher hydrothermal and mechanical stability than materials such as MCM-41 (Thieleman et al., 2011).

SBA-15 is a suitable material for adsorption and separation in analytical environmental applications due to its high internal surface (400-900 m²/g) areas (Şimşek, 2015; Thieleman et al., 2011). It is also a suitable SPM in catalysts (Hess, 2009; Cavalleri et al., 2009; Şimşek, 2019). During the synthesis of SBA-15, which has a hexagonal mesoporous structure, it was observed that the pH value of the gel before washing with 300 ml of distilled water was always less than 0. After washing with

300 ml of distilled water, the pH value was obtained between 0-1. In other words, the pH value is very important for the catalytic activity of the SBA-15 SPM. The adjustable pore size in the synthesis of PMs increases the product selectivity. The pore size of the material must also be large then the large size of the organic molecules formed in the reaction. In catalyst synthesis, silica-alumina based materials are preferred because of that pore size ranges can be controlled depending on the synthesis parameters (Clark, 2002; Wilson & Clark, 2000).

Due to these properties, it is an important SPM for acidic catalysts used in ERs such as glycerol, which is obtained as a by-product in biodiesel production, and methyl acetate, ethyl acetate. The pH value before synthesis and after washing is important for the SBA-15 SPM to show high catalytic activity. ERs are equilibrium-limited and slow reactions. For this reason, there is a need for the use of catalysts in order to economically produce esters. Studies have shown that ester production increases in the presence of acidic homogeneous and heterogeneous catalysts (Röhnback et al., 1997).

The heterogeneous catalysts used in the ER are usually homogeneously dispersed on a porous SPM. Natural or artificial solid materials, in which the pores are heterogeneously or homogeneously dispersed in different sizes and dimensions, are generally called porous materials. Their use as SPM in catalyst synthesis is one of the most important application areas of porous materials. The porous structure increases the surface area of the catalysts and increases their activity (Şimşek, 2008). The use of heterogeneous catalysts in ERs has increased in recent years. In reactions with heterogeneous catalysts, the parameters affecting the activity are temperature, stirring speed, catalyst amount, mole ratio of reactant, presence of inert material in the feed and retention time. The most important factors in the preference of solid acidic catalysts are that they reduce the corrosion problems and environmental problems that will occur due to the use of homogeneous acidic catalysts and do not create an additional separation cost in the chemical process (Helwani et al., 2009).

In this study, SBA-15 SPM synthesized by HM and Fe/SBA-15 (10,25% Fe/Si loading ratio) catalyst was synthesized. The catalytic activities of the synthesized materials (SBA-15, Fe/SBA-15) were tested in the MER selected as the model reaction. XRD, BET, FT-IR, DRIFTS, SEM/EDX, and MAPPING analysis methods were used to examine the structural changes of the synthesized materials before the reaction. The main purpose of this study is to investigate the synthesis, characterization, and catalytic activities of heterogeneous acid catalyst synthesized by the HM in the ER.

2. Material and Method

2.1. Synthesis of SBA-15 and Fe/SBA-15 Materials

SBA-15 synthesis was carried out in accordance with the synthesis procedure determined as a result of the literature search (Şimşek, 2019). Pluronic P123 as a surfactant, tetraethyl orthosilicate (TEOS) as silica source, deionized water (DW) as a solvent, and HCl acid for adjusting solution pH were used in the synthesis of porous material. First, pluronic P123 was dissolved in DW and stirred for 4 hours at 40°C until the solution became clear. Then, TEOS was added to the prepared clear solution. Within the scope of the study, the TEOS/Pluronic P123 ratio was

determined as “2”. After mixing for 2 hours, the solution obtained was placed in an autoclave and kept in an oven at 100°C for 48 hours. Second, the product, which became a gel in the autoclave, was washed with DW and a solid product was obtained after filtration. The solid product was then dried at 80°C for 12 hours. Finally, the sample was calcined at 540°C for 5 hours in order to remove the Pluronic p123 remaining during the synthesis in the SBA-15 structure. The HM was used in the synthesis of the Fe/SBA-15 catalyst used in the study. According to this method, TEOS was first added to the surfactant simultaneously with the active substance Fe₂O₃. The steps the solution goes through until it becomes solid are the same as for SBA-15 synthesis. Unlike the SBA-15 synthesis, the calcination temperature in the Fe/SBA-15 synthesis was determined as 350°C, taking into account the catalyst strength. The active substance ratio in the Fe/SBA-15 catalyst was determined based on the molar ratio of iron (Fe) in the iron (III) oxide structure to silicon (Si) in the TEOS structure. Within the scope of the study, this rate is Fe/Si: 10,25 %. The synthesis steps of the Fe/SBA-15 catalyst are shown schematically in Figure 1.

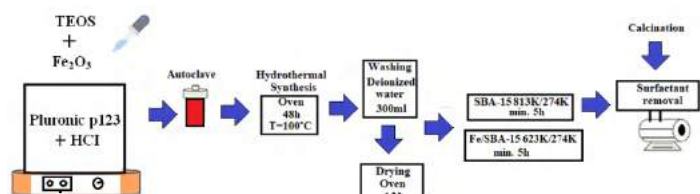


Figure 1. Synthesis procedures of SBA-15 SPM and Fe/SBA-15 catalyst.

2.2. Product of Methyl Acetate

The ERs were carried out in a batch reactor at autogenic pressure. The amount of Fe/SBA-15 catalyst was determined as 0.4g, the stirring speed was determined as 1000 rpm, and the mole ratio of AA/MetOH was determined as 2/1 during the experiments carried out in a reactor with methyl acetate production. Samples were taken at certain time intervals during the reaction and analyzed using Shimadzu gas chromatograph (GC-2010) instrument. In the gas chromatograph(GC) operation conditions are given in Table 1. MetOH and AA reactants with ethyl acetate synthesis and acetic acid conversion (Eq.1-2.)

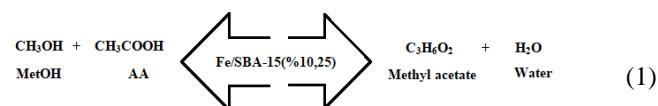


Table 1. Operation properties of GC[22].

Column	TRB Wax, 30mx0.32mmx0.5 µm Capillary column
Detector	FID (flame ionization detector)
Carrier gas and flow rate	N ₂ (99.9%), 1.5 ml/min.
Column operated temperatures	80°C (1 minute) $\xrightarrow{15^{\circ}\text{C}/\text{min.}}$ 330°C (2 minutes)
Detector temperature	380 °C
Injection temperature	280 °C

$$XA =: \frac{AC*\alpha AC}{AC*\alpha AC+AB*\alpha AB+AA*\alpha AA} \quad (2)$$

Here: The AAC(%) is $X_{AA/MtAC}$, the calibration factor of methyl acetate is α_{MtAC} , the calibration factor of MetOH is α_{MtOH} , the calibration factor of AA is α_{AA} , the area of methyl acetate is A_{MtAC} , the area of MetOH is A_{MtOH} and A_{AA} is the area of AA.

2.3. Characterization studies

Fourier transform infrared spectroscopy(FT-IR) analyses of SBA-15 SPM and Fe/SBA-15 catalysts(10,25%) were performed using Perkin Elmer IR device between 380-4000 cm⁻¹ wavelengths. In order to determine the Brønsted acid acidity of the Fe/SBA-15 catalysts, multiple internal reflection(DRIFT) analyses were carried out using the pyridine(C₅H₅N) adsorbed samples in the same instrument and wavelength range, and the acid sites of the catalyst were determined. X-ray diffraction(XRD) analyses to identify structural phases of SBA-15 and Fe/SBA-15 catalysts: Panalytical Empyran HT-instrument; using CuKα radiation, 0.066 step pitch (sensitivity) and between 0°<2 θ<60° range were performed. In order to determine the surface area(SA), pore size distribution(PSD), and average pore distribution, multi-point Brunauer-Emmett-Teller(BET) and Barrett-Joyner-Halenda(BJH) analyses methods were carried out using the ASAP2020 device in the range of N₂ gas and 363-523K degas temperature for 3hours. The surface morphologies of the SPM and catalyst were determined by SEM/EDX (scanning electron microscope/energy dispersive x-ray, Zeiss SUPRA V40 instrument) analysis. Moreover, the MAPPING analysis method was used to determine the distributions of Fe and Si elements in the catalyst and support structure.

N ₂ constant pressure	(58,0 kPa)
Hydrogen (H ₂)	(99.9%)
Dry air	(99.9%)
Injection sample volume	0.2µl

3. Results and Discussion

3.1. Characterization Analyses

Figure 2 (a) shows N₂ adsorption/desorption experiments of SBA-15 SPM and Fe/SBA-15 (10, 25% Fe:Si). And BJH pore volume distribution is given in Fig 2(b). SBA-15 and 10, 25% catalysts have shown a type IV isotherm curve with an H1 hysteresis loop its characteristic of mesoporous structure[30]. The surface area and pore volume decreased as a result of the addition of Fe₂O₃. These reductions are thought to be due to the accumulation of Fe₂O₃ on the pore walls, as well as some of it entering the pore. Changes in the structure of the 10% Fe/SBA-15 catalyst can be explained by the changes in the SBA-15 structure of the Fe added to the structure rather than the reaction effect.

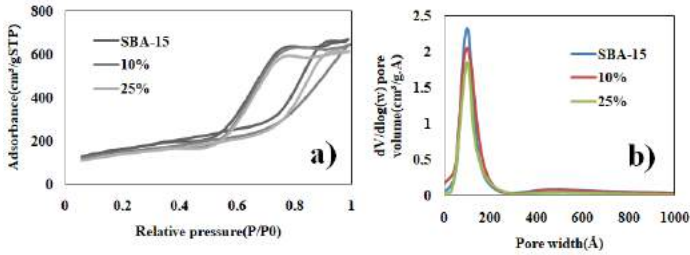


Figure 2. a) BET isotherm curves, and b) BJH desorption pore volume distribution of materials.

Figure 3 shows SBA-15 has a regular mesoporous and hexagonal structure(Şimşek & Avcı, 2018; Helwani et al., 2009; Huang et al., 2010; Baskarana et al., 2014) with d100, d110 main peaks(Quach et al.,2020). Furthermore, in the characteristic peaks of SBA-15 SPM were observed shifts and losses after loading Fe(Figure 3)(Şimşek, 2015; Şimşek, 2019; Baskarana et al., 2014). According to the XRD analysis results of the SBA-15 SPM, it was observed that Bragg peaks at 1.12° and 2.94° 2θ values were obtained. Moreover, the characteristic peaks of SBA-15 were obtained in accordance with the literature(Şimşek, 2015; Şimşek, 2019) Figure 3(a). Although there were shifts in the basic Bragg peaks of SBA-15 after the active substance loading, 200 and 210 peaks were observed Figure 3(a,b) (Magdalena et al., 2019). It was assumed that this was due to the fact that the active substance did not cause significant changes in the structure during synthesis. As expected, no significant changes were observed in wide-angle XRD analyses (Figure 3(c)). These results are supported by the SEM analysis image of the Fe/SBA-15 catalyst before the reaction (Figure 6,7).

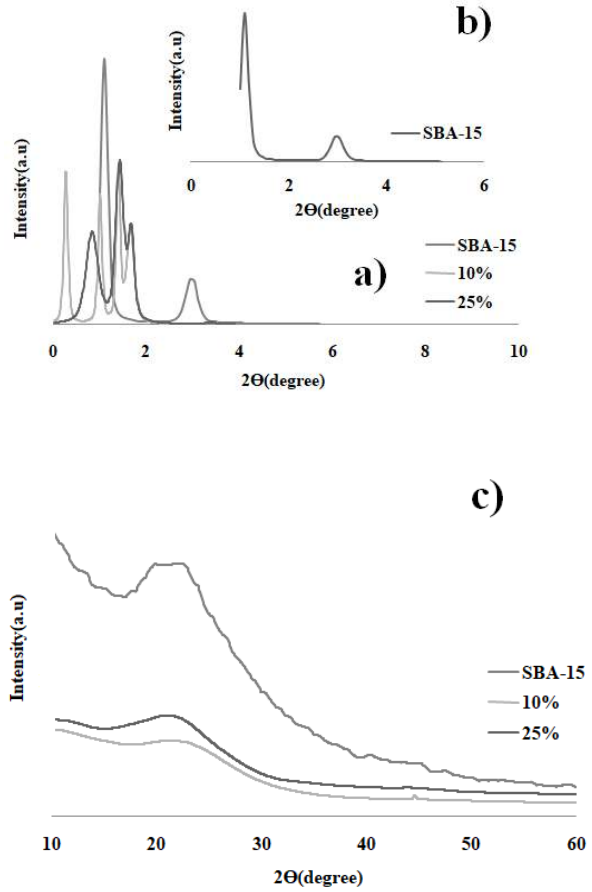


Figure 3. XRD analyses(low angle (a,b) and c) high angle) of SBA-15 and Fe/SBA-15(10,25%) materials.

Table 2. Physical properties of SBA-15 and Fe/SBA-15(10, 25%) materials.

Material	BET surface area(m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Micro surface area (m ² /g)	Average pore diameter(d p) (Å)	d(100) nm	Lattice parameters (a:nm)
SBA-15	636.7	1.27	48.6	95.4	8.85	9.87
Fe/SBA-15*	537.5	1.07	36.8	103.5	8.14	9.38
Fe/SBA-15**	289.4	0.40	14.4	112.7	7.76	8.96

*10% Fe/Si, **25% Fe/Si

The characteristic lattice parameters "a" of SBA-15 and 10,25% catalysts were obtained using Eq. (3) "a=2d₍₁₀₀₎/3^{1/2}". The lattice and d(100) parameters of materials were measured using BET and XRD analyses methods.

$$a = 2d(100)/\sqrt{3} \tag{3}$$

Here: a; lattice parameters, d(100): dspace(distance between planes).

Figure 4 illustrates FTIR analysis results of SBA-15 SPM and Fe/SBA-15 catalysts. 447-1045cm⁻¹ wavelengths indicate SBA-

15 characteristic structure peaks. Si-O and SiO₂ tensile and flexible vibrations (symmetrical and asymmetrical) peaks of it were obtained 1045, 940, 787cm⁻¹ wavelengths, respectively (Junhong et al., 2020). Moreover, the 447cm⁻¹ peak corresponds to Si-O-Si bending vibration in the structure of SBA-15 (Bhuyan et al., 2017).

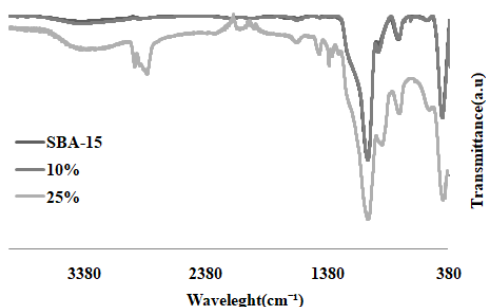


Figure 4. FTIR analyses of SBA-15 and Fe/SBA-5 (10,25%) materials.

Figure 5 shows DRIFT analyses peaks of Fe/SBA-15 (Fe/Si:10,25%) catalysts. Lewis acid site (LeAs) and Brønsted acid site (BrAs) was obtained at between 1300-1500cm⁻¹ wavelengths (Figure 5). LeAs and BrAs site of Fe/SBA-15 (Fe/Si:10,25%) catalysts were obtained at 1347-1346, 1458-1458 cm⁻¹ wavelengths, respectively (Cavlar et al., 2007). 1372 and 1373 peaks corresponded to pyridine physically adsorbed in the catalyst structure (Cavlar et al., 2007).

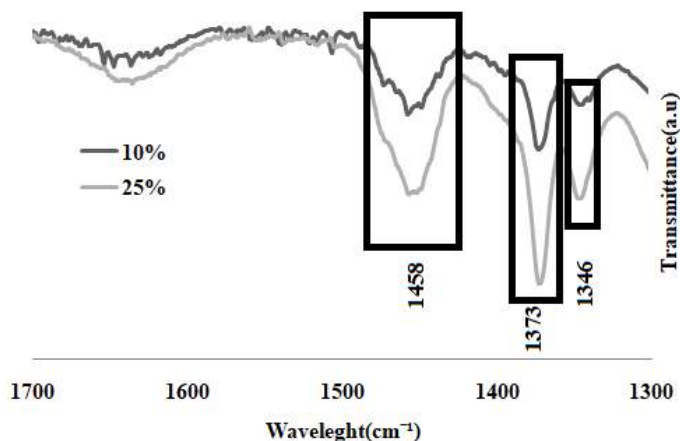


Figure 5. Drift analyses of Fe/SBA-15 (10,25%) materials.

The p6mm space groups and wheat structures of the SBA-15 SM (Thieleman et al., 2011) were indicated in the SEM analysis results (Fig.6,7 (a, b)). Moreover, these structures were preserved after active compound (Fe) loading (Fig.6,7(a,b)). The results of SEM/EDX and MAPPING analyses, it was determined that the distribution of Fe and Si elements on the support material (SBA-15) surface was homogeneous (Fig.8,10;a,b). The EDX results of catalysts indicated that the increase in the amount of Fe (active compound) loading in the SBA-15 has been proven (Fig.9,11).

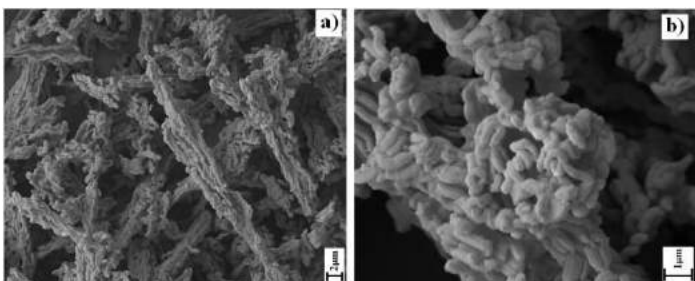


Figure 6. SEM images of parent Fe/SBA-15 (10% Fe/Si ; a, b; 5-20kx).

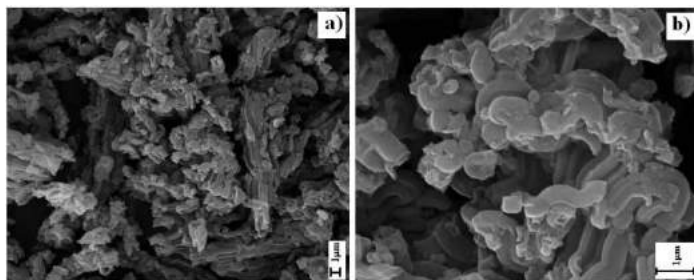


Figure 7. SEM images of parent Fe/SBA-15 (25% Fe/Si ; a, b; 5-20kx)

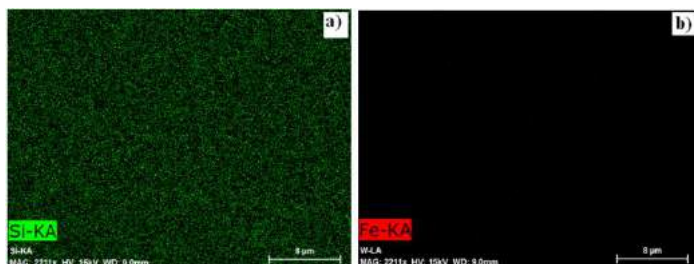
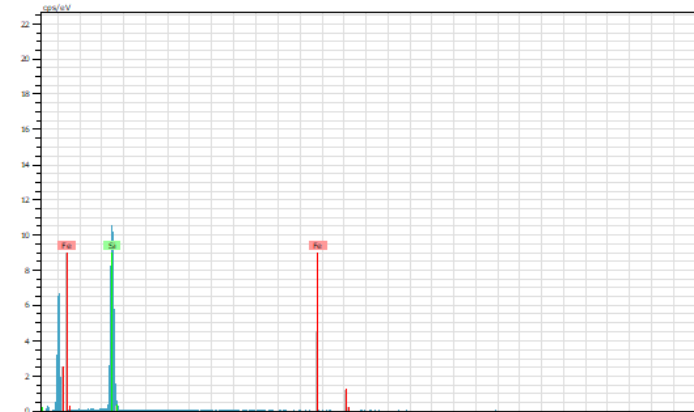


Figure 8. MAPPING images of parent Fe/SBA-15 (10% Fe/Si ; 2.211kx).



Spectrum: Object 957



Element	Series	unn. [wt. %]	norm. [wt. %]	Atom. [at. %]	Error (1 Sigma) [wt. %]
Iron	K-series	0.19	0.37	0.19	0.09
Silicon	K-series	51.83	99.63	99.81	2.24
Total:		52.02	100.00	100.00	

Figure 9. EDX analysis of parent Fe/SBA-15 (10% :Fe/Si).

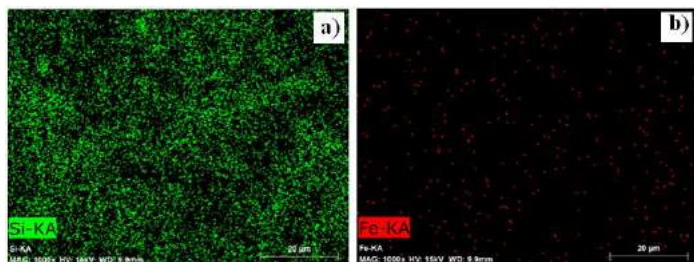


Figure 10. MAPPING images of parent Fe/SBA-15 (25% Fe/Si ; 1kx).

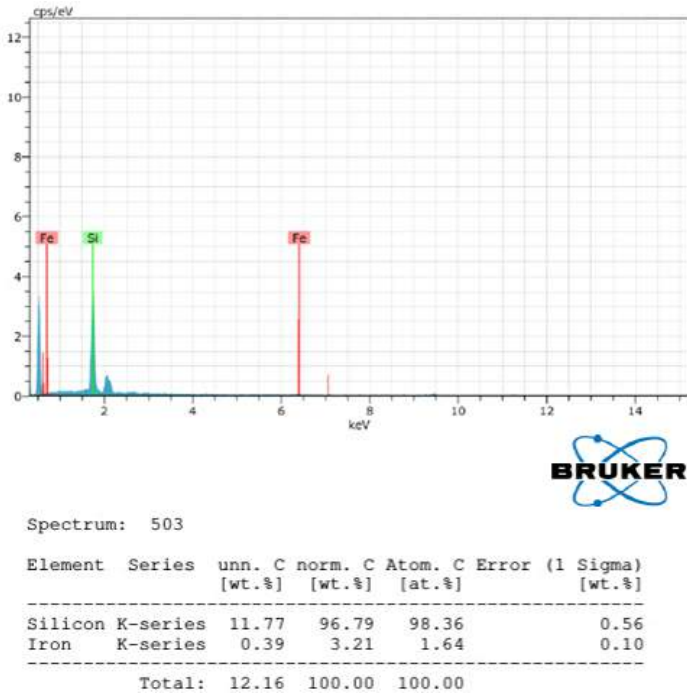


Figure 11. EDX analysis of parent Fe/SBA-15 (25% : Fe/Si).

3.2. Catalytic Analyses

Catalytic activities of synthesized Fe/SBA-15 catalysts within the scope of the study; It was investigated by methyl acetate synthesis with MetOH and AA reactants at 373 K. Reaction experiments were carried out in a batch reactor. Experiment conditions have been determined as catalyst amount of 0.4g, stirring speed of 1000 rpm, the mole ratio of AA/MetOH 2/1, and analysis time 48 hours. AA conversion values were obtained as 43-48, 55-61 and 64-72%, respectively after 6, 24 and 48hours(Fig. 12(a,b,c)). However, the reaction was not reached to balance limitation. On the other hand, the initial reaction rates of catalysts at different temperatures were calculated. The calculations were obtained at the end of 1 hour and using the batch reactor equation. Parameters: Volume of the batch reactor; V, and V=V0(volume batch reactor=initial volume). the IRR (initial reaction rates), and the SRR(specific reaction rate) of Fe/SBA-15 catalysts(%10,25) are shown in Table 3.

Table 3. IRR and SRR values of Fe/SBA-15 catalysts(%10,25).

Materials	Temperature (K)	SRR (k;L/mol.min)	IRR(-rA) mol/L.min
Fe/SBA-15*	373	1.159×10^{-4}	0.013459
Fe/SBA-15**	373	1.27×10^{-4}	0.014525

*10% Fe/Si, **25% Fe/Si

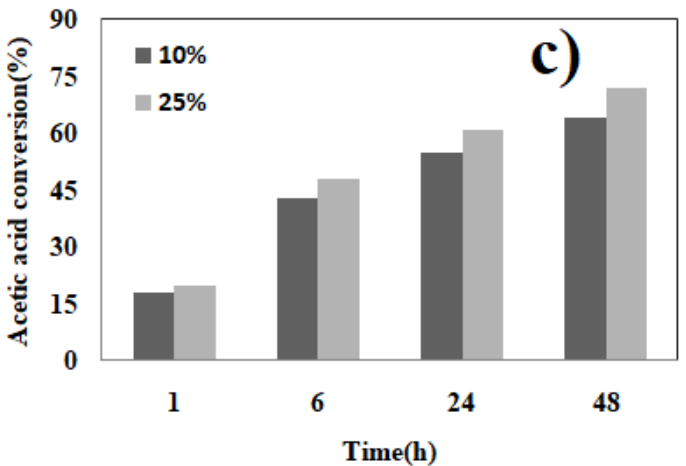
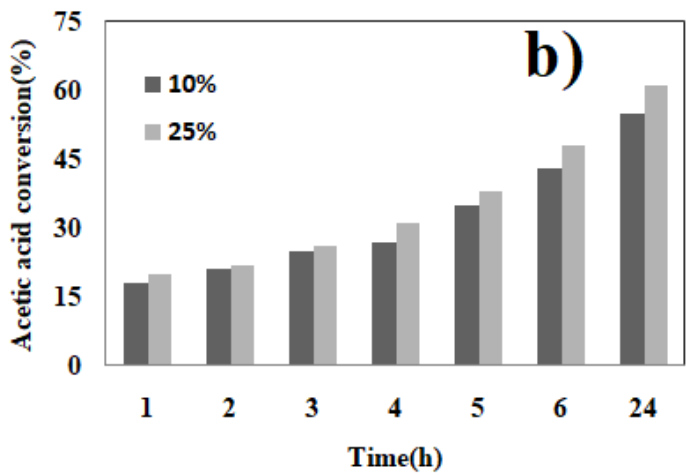
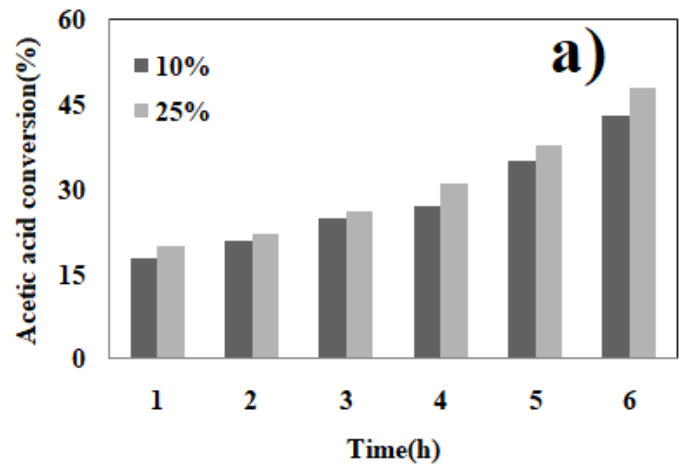


Figure 12. Acetic acid conversion (a)6h, (b)24 and (c) 48h.

4. Conclusions and Recommendations

SBA-15 SPM and Fe/SBA-15 catalysts were successfully synthesized with HM. Moreover, the characterization studies carried out on the materials proved that the synthesis of SBA-15 was carried out successfully in accordance with the literature. By the way, it was observed that Fe added to the structure during the synthesis not caused structural deterioration in the Fe/SBA-15 catalyst.

By adjusting the synthesis conditions, the active substance was homogeneously added to the catalyst structure and the activity of the catalyst was adjusted depending on the parameters applied in the synthesis procedures. Catalytic activity values of 10, 25% catalysts were calculated as 64 and 72%, respectively after 48 hours.

It is estimated that Fe/SBA-15 catalysts synthesized by the HM will be more efficient in higher temperature reactions. This is because the SBA-15 SPM has high thermal stability and thick wall thicknesses.

References

- Baskarana, T., Christopher, J., Ajithkumar, T.G., Sakthivel, A. (2014). SBA-15 intercalated Mg-Al hydrotalcite: An environmental friendly catalyst for hydroisomerization of olefin. *Applied Catalysis A: General*, 488, 119-127.
- Bhuyan, D., Selvaraj, K., Saikia, L. (2017). Pd/SBA-15 nanocomposite catalyst: Synthesis and efficient solvent-free semihydrogenation of phenylacetylene under mild conditions, *Microporous and Mesoporous Materials*, 241, 266-273.
- Brahmkhatri, V., Patel, A. (2011). 12-Tungstophosphoric acid anchored to SBA-15: An efficient, environmentally benign reusable catalysts for biodiesel production by esterification of free fatty acids. *Applied Catalysis A: general*, 403, 161-172.
- Cavalleri, M., Hermann, K., Knop-Gericke, A., Havecker, M., Herbert, R., Hess, C., Oestereich, A., Döbler, J., Schlögl, R. J. (2009). *Catal.*, 262, 215-223. Doi:10.1016/j.jcat.2008.12.013.
- Clark, J.H. (2002). Solid acids for green chemistry. *Acc. Chem. Res.*, 35:791-797.
- Cavlar, N., Gonzalez, B., Dominguez, A. (2007). Esterification of acetic acid with ethanol: Reaction kinetics and operation in a packed bed reactive distillation column. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 1317-1323.
- De Almeida, R. M., Souza, F. T. C., Junior, M. A. C., Albuquerque, N. J. A., Meneghetti, S. M. P., Meneghetti, M. R. (2014). Improvements in Acidity for TiO₂ and SnO₂ via Impregnation with MoO₃ for the Esterification of Fatty Acids, *Catalysis Communications*, 46, 179-182.
- De Sousa, F. F., Oliveira, A. C., Filho, J. M., Pinheiro, G. S., Giotto, M., Barros, N. A., Souza, H. S. A., Oliveira, A. C. (2013). Metal oxides nanoparticles from complexes on SBA-15 for glycerol conversion. *Chemical Engineering Journal*, 228, 442-448.
- Fulvio, P. F., Pikus, S., Jaroinc, M. (2005). Short-time synthesis of SBA-15 using various silica sources. *Journal of Colloid and Interface Science*, 287, 717-720.
- Helminen, J., Leppamäki, M., Paatero, E., Minkkinen, P. (1998). Monitoring the Kinetics of the Ion-Exchange Resin Catalysed Esterification of Acetic Acid with Ethanol Using Near Infrared Spectroscopy with PLS Model, *Chem. Int. Lab. Sys.*, 44, 341-352.
- Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Kim, J., Fernando, W. J. N. (2009). Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol. *Applied Catalysis A: General*, 363, 1-10.
- Hess, C. (2009). *Chem Phys Chem.*, 10, 319-326. Doi:10.1002/cphc.200800585.
- Huang, H., Ji, Y., Qiao, Z., Zhao, C., He, J., Zhang, H. (2010). Preparation, characterization, and application of magnetic Fe-SBA-15 mesoporous silica molecular sieves, *Journal of Automated Methods and Management in Chemistry*, doi:10.1155/2010/323509, 2010.
- Jimenez, M.I., Gonzalez, J.S., Torres, P.M., Lopez, A.J. (2010). Zirconium doped MCM-41 supported WO₃ solid acid catalysts for the esterification of oleic acid with methanol. *Applied Catalysis A: General*, 379, 61-68.
- Junhong, W. J., Shao, X., Liu, J., Ji, X., Ma, J., Tian, G. (2020). Fabrication of CdS-SBA-15 nanomaterials and their photocatalytic activity for degradation of salicylic acid under visible light, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110139.
- Kumar, G. S., Vishnubharth, M., Palanichamy, M., Murugesan, V. (2006). SBA-15 supported HPW: Effective catalytic performance in the alkylation of phenol. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 260, 49-55.
- Laugel, G., Arichi, J., Bernhardt, P., Moliere, M., Kennemann, A., Garin, F., Louis, B. (2009). Preparation and characterisation of metal oxides supported on SBA-15 as a methane combustion catalysts. *C. R. Chimie*, 12, 731-739.
- Liu, Q.Y., Wu, W. L., Wang, J., Ren, X. Q., Wang, Y. R. (2004). Characterization of 12-tungstophosphoric acid impregnated on mesoporous silica SBA-15 and its catalytic performance in isopropylation of naphthalene with isopropanol. *Microporous and Mesoporous Materials*, 76, 51-60.
- Magdalena, P., Jacek, Z., Adrian, S., Adrianna, S., & Gavin, W. (2019). Surface-Activated Fibre-Like SBA-15 as Drug Carriers for Bone Diseases. *AAPS PharmSciTech* 20: 17 DOI: 10.1208/s12249-018-1243-5.
- Maki-Arvela P, Salmi T, Sundell M, Ekman K, Peltonen R, Lehtonen J (1999) Comparison of Polyvinylbenzen and Polyolefin Supported Sulphonic Acid Catalysts in the Esterification of Acetic Acid, *Applied Catalysis A: General*, 184, 25-32.
- Oliviera, C. F., Dezaneti L. M., Garcia, F. A. C., DeMacedo, J. L., Dias, J. A., Dias, S. C. L., Alvim, K. S. P. (2010). Esterification of Oleic Acid with Ethanol by 12-Tungstophosphoric Acid Supported on Zirconia, *Applied Catalysis A: General*, 372, 153-161.
- Poonjarersilp, C., Sano, N., Tamon, H. (2014) Hydrothermally Sulfonated Single-Walled Carbon Nano Horns for Use as Solid Catalysts in Biodiesel Production by Esterification of Palmitic acid", *Applied Catalysis B: Environmental*, 147, 726-732.
- Quach, N. K. N., Nguyen, T. Y., Nguyen, D. H., & Hoai, L. T. (2020). Synthesis and Characterization of Mesoporous Silica SBA-15 and ZnO/SBA-15 Photocatalytic Materials from the Ash of Brickyards. *Journal of Chemistry*, vol.2020. ID456194, 8 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/456194>
- Röhnback, R., Salmi, T., Vuori, A., Hoorio, H., Lehtene, J., Sundquist, A., Tirronen, E. (1997). Development of a kinetic model for the esterification of acetic acid with methanol in the presence of a homogenous acid catalyst. *Chemical Engineering Science*, 52: 3369-3381.

- Sawant, D. P., Vinu, A., Justus, J., Srinivasu, P., Halligudi S. B. (2007). Catalytic performances of silicotungstic acid/zirconia supported SBA-15 in an esterification of benzyl alcohol with acetic acid. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 276, 150-157.
- Senapati, S., & Maiti, P.(2020). Emerging bio-applications of two-dimensional nanoheterostructuree materials, *2D Nanoscale Heterostructured Materials* 243-255. di:10.1016/b97-0-12-17678-8.00009-9.
- Şimşek, V. (2015). Synthesis, characterization and investigation catalytic activity in the glycerol esterification reaction of acidic catalyst, *Ph.D. Thesis*, Gazi university graduate school of natural and applied sciences, January Turkey.
- Şimşek, V., & Avcı, P.(2018). Characterization and Catalytic Performance of Modified SBA-16 in Liquid Phase Reaction, *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. 2018.16(8): DOI: <https://doi.org/10.1515/ijcre-2017-0246>.
- Şimşek, V., Şahin, S. (2019). Characterization and catalytic performance evaluation of a novel heterogeneous mesoporous catalyst for methanol-acetic acid esterification. *Journal of Porous Materials*. May (2019) <https://doi.org/10.1007/s10934-019-00764-4>.
- Şimşek, V.(2019). Investigation of catalytic Sustainability of Silica-Based Mesoporous Acidic Catalysts and Ion-Exchange Resins in Methyl Acetate Synthesis and Characterizations of Synthesized Catalysts, *Arabian Journal for Science and Engineering*. 44, 5301–5310. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3570-y>.
- Simsek, V. (2008). Application of Mercury Porosimetry to Three Dimensional (3D) Stochastic Network Model and Researching Network Size Effect on Structure of Porous Media. *MSc Thesis*, Gazi univrsiy graduate school of natural and applied sciences January, Ankara.
- Şimşek, V., Mürtezaoğlu, K.(2019) Investigation of lauric acid conversion with the STA incorporated heterogeneous catalysts in liquid phase reaction. *BSEU Journal of Science*, 6(1),91-103, DOI: 10.35193/bseufbd.553967.
- Thieleman, J. P., Girgsdies, F., Schlögl, R., Hess, C. (2011). Pore structure and surface area of silica SBA-15: Influence of washing and scale-up, *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 2, 110-118.
- Wilson, K., Clark, J.H.(2000). Solid acids and their use as environmentally friendly catalysts in organic synthesis. *Pure Appl. Chem.*,72:1313-9.
- Yang, L., Qui, Y., Yuan, X., Shen J., Kim, J. (2005). Direct synthesis, characterization and catalytic application of SBA-15 containing heteropolyacid H3PW12O40. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 229, 199-205.
- Yin, W.L.P., Liu, X., Chen, W., Chen, H., Liu, C., Qu, R., Xu, Q.(2013). Microwave Assisted Esterification of Free Fatty Acid over a Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production, *Energy Conversion and Management*, 76,1009-1014.



Virtualization of Clothing Thermal Comfort in 3D Simulations

Sertaç Güney^{1*}

¹Selçuk University, Faculty of Architecture and Design, Handicrafts Department, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0002-9301-0026), sertac.guney@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.979644)

ATIF/REFERENCE: Güney, S. (2021). Virtualization of Clothing Thermal Comfort in 3D Simulations. *European Journal of Science and Technology*, (28), 29-33.

Abstract

Virtual simulations have become a part of design and marketing from personal use to professional designs and provide virtual realism to a great extent. With rapidly developing technology, nowadays it has attracted much more attentions especially in textile processes. The 3D virtual garment simulation provides the textile producers and fashion designers with benefits in terms of product development, customization of garments and speed to market. While most of the software focuses just on visual design, some major software manufacturers (Lectra, Optitex, Gerber, etc.) try to develop programs to accurately simulate fabric behavior as well as visual modeling. When the literature studies are examined, it is seen that the simulations in which the fabric mechanical and physical properties are defined, provide virtual realism to a large extent. But this is just regarding to the ergonomic comfort of the garment and virtually no garment simulations exist for the realistic prediction of thermal comfort. The estimation of clothing thermal comfort is very helpful for designing garments, especially sports and works garments where thermal comfort plays an crucial role for the status of the wearer. To make a method to realistic solution to virtualize the thermal comfort of clothing: virtual body properties, garment design, clothing drapability, thermal characteristics of fabric and the thermoregulation of the human body according to different conditions should be considered all together.

Keywords: Thermal comfort, virtualization, virtual garment, thermal imaging, 3D simulation

Giysi Termal Konforunun Üç Boyutlu Simülasyonlarda Sanallaştırılması

Öz

Sanal simülasyonlar, kişisel kullanımdan profesyonel tasarımlara kadar tasarım ve pazarlamanın bir parçası haline gelmiştir ve büyük ölçüde sanal gerçeklik sağlamaktadır. Hızla gelişen teknoloji ile günümüzde özellikle tekstil proseslerinde bu tür yazılımlar çok daha fazla ilgi görmektedir. Üç boyutlu sanal giysi simülasyonu, tekstil üreticilerine ve moda tasarımcılarına ürün geliştirme, giysilerin özelleştirilmesi ve piyasaya sürülme hızı açısından avantajlar sağlamaktadır. Yazılımların çoğu sadece görsel tasarıma odaklanırken, bazı büyük yazılım üreticileri (Lectra, Optitex, Gerber, vb.) görsel modellemenin yanı sıra kumaş davranışını doğru bir şekilde simüle etmek için programlar geliştirmeye çalışmaktadırlar. Literatür çalışmaları incelendiğinde kumaşın mekanik ve fiziksel özelliklerinin tanımlandığı simülasyonların büyük ölçüde sanal gerçeklik sağladığı görülmektedir. Ancak bu sadece giysinin ergonomik konforu ile ilgilidir ve termal konforun gerçekçi tahmini için neredeyse hiçbir giysi simülasyonu yoktur. Giysilerin termal konforunun tahmini, giysilerin, özellikle de termal konforun kullanıcının durumu için çok önemli bir rol oynadığı spor ve iş giysilerinin tasarlanmasında çok yararlıdır. Giysilerin termal konforunu sanallaştırmak için gerçekçi bir çözüm yöntemi hazırlamak için: sanal vücut özellikleri, giysi tasarımı, giysi dökümlülüğü, kumaşın termal özellikleri ve insan vücudunun farklı koşullara göre termoregülasyonu birlikte düşünülmelidir.

Anahtar Kelimeler: Termal konfor, sanallaştırma, sanal giysi, termal görüntüleme, 3D simülasyon

*Sorumlu Yazar: Selçuk University, Faculty of Architecture and Design, Handicrafts Department, Konya, Turkey, ORCID: 0000-0002-9301-0026, sertac.guney@selcuk.edu.tr

1. Introduction

Garment design and proceeding is a highly specialized field which needs design creativity, skills of technical pattern making, knowledge of manufacturing techniques in addition to an evaluation of fabric science and performance [1]. In designing and manufacturing clothes, there is a need of capable fashion designer to create garment patterns, try on mannequins to assess the fitting and drape, and suitably correct the design according to the demands. This line makes the design of garment a complex process with several restrictions which significantly limit the designer's creativity. In this regard, virtual simulation of garments is a great solution for fashion designers not only to speed up the steps in their creation of garment, but also to bring their designs to life through high quality mechanical simulation via animations.

Virtual garment is a process used for speeding up the presentation of the collections to new markets and reducing the overall cost. It allows designers to design easily with a variety of fabrics and patterns on a 3D virtual body without manufacturing the sample garment; it enables to use of a virtual model, for evaluating and testing the characteristics of a product and for simulating the manufacturing processes in a computational environment [2]. Figure 1 shows process steps of 3D virtual garment simulation including creating pattern, arranging the virtual body, defining fabric properties, sewing garment and simulating.



Figure 1. Process steps of 3D virtual garment simulation

The realistic look of cloth was the first focus; however virtual garment simulation soon evolved toward the realistic simulation of the mechanical behaviors of cloth. Although there are still some deficiencies in virtual garment simulations, researches and improvements are still ongoing.

In 1980s, the researches on 3D human modelling and virtual try-on started to draw attention mainly for the cinematic applications. Then, different systems having both geometric and physical based approaches for 3D virtual try-on simulation have been developed in order to improve the accuracy and speed.

In earlier past, the fashion market somehow did not adopt the virtual pattern design process due to the inaccuracy of results in virtual try-on simulations. To overcome these misunderstandings, 3D simulation systems should properly simulate fabric behaviors in addition to predicting the garment shapes correctly on a virtual model. Using the same fabric in different grain alignments or different fabrics contributes to the draping effects. This is because clothing fabrics have significant influence on the resulted garment shapes. The draping effects of different fabrics can be virtualized by considering the fabric material properties obtained by laboratory test or individual measurement kits of simulations [3]. When the literature studies are examined, it is seen that the simulations in which the fabric mechanical and physical properties are defined, provide virtual

realism to a large extent [1,4-6]. But this is just regarding to the ergonomic comfort of the garment and virtually no garment simulations exist for the realistic prediction of clothing thermal comfort. In this research, we have focused on the important factors to consider in virtualization of clothing thermal comfort and have pointed out the feasibility of adapting of thermal imaging into virtual garment simulations.

2. Clothing Thermal Comfort

Thermal comfort has every time been an important factor in garment design. The human body always operates to maintain its core body temperature within a temperature range of 37 ± 0.5 °C achieved by heat production and heat loss to the environment. The human body continuously produces heat due to its metabolism. The metabolism rate depends upon the activity level of the human [7].

Clothing plays a key role to manage the heat stability of the human body within environment because it significantly changes heat and mass transfer between body and environment. The thermal insulation, air permeability, and water vapor resistance of clothing are the most significant factors in terms of thermal comfort [8-9]. Thermal comfort being a key factor [10] is determined by thickness, fabric and yarn structure, the number of layers, the drape behavior of fabrics, and most importantly, air gaps between body and clothing layers [11].

3D simulation systems may provide an opportunity for fashion design with their output for thermal simulation of clothing performance. Firstly it is need of accurate simulation of air gap thickness and contact area between garment and skin, since these parameters specify the heat and mass transfer through the clothing [12]. The process steps in virtual garment simulation have a strong influence on outputs which are related to air gap thickness and contact area. The important factors have been considered in four groups: Virtual body (avatar), Garment fit, Fabric and Environmental factors.

2.1. Virtual Body (Avatar)

Prototypes production for the assessment of the garment fit is time-consuming and costly. The virtual fit allows a designer to test the garments before their real production. 3D software is used to virtually design and simulate the garment as the real prototype. The "virtual fit" of patterns on the human body can be evaluated and modified to improve the garment fit and the simulation can be changed accordingly for re-evaluation [13]. Body posture and shape are the major factors that influence the fit and satisfaction with clothing [14]. Garment poses on body parts and moves along with body movements so these factors affect the accuracy of virtual garment simulation. The virtual human body based on 3D anthropometry has conventionally been created by two methods: (1) the direct avatar, using 3D body scan form and (2) the manual avatar, using the body measurement. Many studies have been conducted on direct and manual virtual avatars in respect of garment fit [15-17].

With the current virtual try-on technology, the direct virtual avatar created from 3D body scan data of the customers ensures more precise fit and appearance in wearing virtual garments. It has an asymmetric body shape and realistic differences in body types and proportions. The manual virtual avatar can

accommodate symmetric body shapes however, the entry of human body measurements cannot support various real body shapes. Figure 2 presents the direct avatar image (a) created through body scan data, and the manual avatar (b) created by the body measurements.

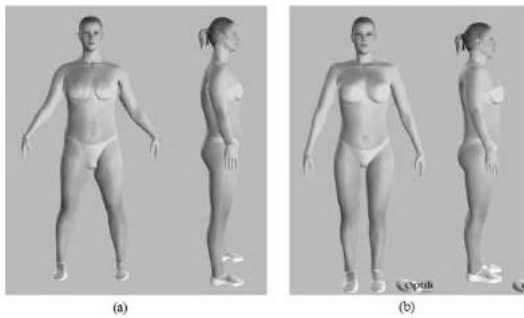


Figure 2. Direct avatar (a), Manual avatar (b) [17]

Another important factor is body tissue. The tissues of the human body are anisotropic and nonlinear under pressure. The tissue layer thickness has a great effect on how the body behaves while contacting [18]. Especially it is more important in compression garment design. Because the compression garment exerts pressure on body part and make the body contours change under pressure.

In assessment of thermal comfort, the virtual body properties may affect the contact area and air gap thickness which has a significant effect on the heat transfer mechanism of human body and has irregular distribution throughout the body. Also asymmetric body shapes and concave contours effect contact area and the air gap thickness so it change the thermal insulation characteristics of garment.

2.2. Garment Fit

Garment design, contact area and the air gap thickness between skin and garment are very crucial factors for mass and heat transfer in clothing. So, by a suitable adjustment of ease allowances, fabric draping and pattern cuts, the thermal and moisture management in garment can be under control. The knowledge of how much these parameters effect will provide the accurate simulation of the mass and heat transfer through clothing, and subsequently, thermo-physiological reaction and human perceptual [19].

The non-uniform thickness of the air layers effects the local heat and vapor transmission. These parameters changes not only due to the air gap thickness but also to whether the garment surface is bended or flat [20]. The behavior of garment surface is related to the fabric draping and pattern.

The distribution of the air layer thickness was researched with 3D body scanning techniques. To measure the air gap thickness, 3D scans of the body with and without garment were compared and the air gap thickness was calculated from either selected points or from cross sections through the dressed body [21-22].

3D virtual garment simulation tools offer an opportunity to use their output for thermal virtualization of clothing performance. The accuracy of determining air gap thickness

distribution in 3D garment simulation software was investigated in many researches [19, 23-25]. The results show that 3D simulation software is capable of showing the differences in air gap thickness obtained from the virtual try-on over body parts. The distribution in the air gap thickness of virtual try-on over body regions showed the same aspect as the real garments.

The air gap thickness and the contact area were substantially dependent on the ease allowances in clothing considerably varied in the overall garment fit. Especially in specific parts of body. Figure 3 shows the effect of garment fit and concave body parts on air gap thickness and contact area [26].

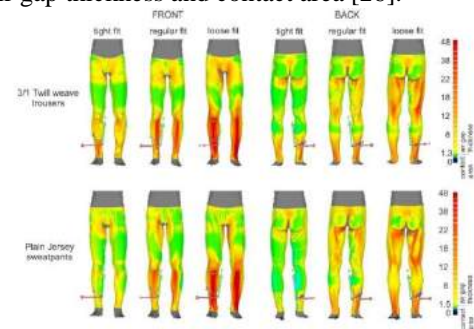


Figure 3. Color maps of 3D scans of trousers and sweatpants in loose, regular and tight fits for front and back view [26]

2.3. Fabric

The main approaches meeting the challenges of virtual garment simulation are accurate representation of human body model and realistic simulation of garment drape on an avatar [27]. Accurate simulation of garment drape is related by inputting the right parameters of fabric. Using the accurately derived mechanical and physical fabric properties, the garment follows the movement of the virtual mannequin during simulation [28].

The fabric type and its drapability also have effects on the size of the contact area and air gaps in clothing. The effect of the drapability is related to the size of ease allowances in clothing and, hence, it is clear that the looser the garment become, the more influence of the garment drape on the air gap thickness is observed [29].

Heat and mass transfer through the garment is not only dependent on the contact area and the air gap thickness but also on the structural, physical and thermal properties of fabrics used in the garment fabric (e.g., fiber type, yarn type, fabric thickness, weave type, thermal resistance, vapor resistance, air permeability). The physical and mechanical properties can be defined in virtual garment simulations but so far, thermal characteristics of fabric could not be defined in any virtual garment simulation. Currently, no virtual garment simulation has a capability to make a thermo-physiological model by inputting measured thermal parameters of fabric. Thermal characteristics of fabric can be estimated by an index defined in measurable parameters related to the thermal comfort. Recently, some researchers investigated the thermal comfort estimation by creating comfort indexes [30-33].

Matusiak (2010), in his study, created a thermal comfort index (TCI) based on some thermal properties of fabrics.

$$TCI = \sum_{i=1}^n \alpha_x \frac{x_i - x_{i \min}}{x_i} + \sum_{j=1}^m \alpha_z \frac{z_{j \max} - z_j}{z_{j \max}}$$

where:

TCI – Thermal Comfort Index,

x_i – value of the i th property, whose increment causes an improvement in thermal comfort; $i = 1, 2, \dots, n$,

$x_{i \min}$ – minimum value of property x_i acceptable from the point of view of thermal comfort,

z_j – value of the j th property, whose reduction causes an improvement in thermal comfort; $j = 1, 2, \dots, m$,

$z_{j \max}$ – maximum value of the property z_j acceptable from the point of view of thermal comfort,

In the thermal comfort index, it has divided the effective parameters into two groups as positive effect and negative effect properties. Using the values of thermal resistance (R), thermal absorbency (b), water vapor resistance (Ret) and air permeability (AP) from fabric thermal measurements, it obtained thermal comfort index values ranging between 0 and 1 of nine different fabrics. In this calculation, the lowest and highest values were determined from the values in the fabric group used. He has determined the severity rating of the properties between 1 and 5. He stated that the thermal comfort index based on the importance of some comfort properties of the fabric can be used in thermal comfort estimation of the clothes produced from these fabrics [33].

2.4. Environmental factors

The human body manages its core body temperature within a certain temperature range of 37 ± 0.5 °C by controlling internal heat gain and heat loss to the environment. The ambient temperature, air velocity and humidity that affect thermal comfort are changing around body and clothing. The heat loss through the fabric mainly consists of convection and radiation. The airflow causes convective heat loss. This convective heat loss and the radiant heat exchange between the fabric surface and environment should be described. In recent software, the environmental factors are defined in some standards (Ashare-55, ISO 7730).

For virtual garment application, sometimes there is need to estimate the garment in variable conditions. Especially in sport wears, the environmental factors should be considered in respect of user's performance. Environmental temperature, humidity and air velocity can affect the mechanical and thermal behaviors of fabrics so the changes also can affect the results of simulations. Isolation are particularly discouraged.

3. Conclusions

In this research, we have focused on the important factors to consider in virtualization of clothing thermal comfort and have pointed out the feasibility of adapting of thermal imaging into virtual garment simulations. In recent virtual garment simulations, they have sufficient capability to estimate mechanical behaviors and correspondingly drapability of fabric. In many researches, the results of virtual garment simulations were proved with regard to realistic prediction of air gap thickness and contact area. These results may offer an opportunity to develop thermal simulation of clothing
e-ISSN:2148-2683

performance. However heat and mass transfer through the garment is not only dependent on the contact area and the air gap thickness but also on the structural, physical and thermal properties of fabrics used in the garment fabric (e.g., fiber type, yarn type, fabric thickness, weave type, thermal resistance, vapor resistance, air permeability). So all these factor should be considered in one process.

The virtual garment simulations can be improved using thermo-physiological model by inputting measured thermal parameters of fabric. Using the values of thermal resistance (R), thermal absorbency (b), water vapor resistance (Ret) and air permeability (AP) from fabric thermal measurements, a thermal comfort index can be obtained to estimate thermal comfort of garment.

Thermal mapping can be adapted to simulation by evaluating the fabric behaviors under extended states according to the output (strain maps etc.) of simulation. The values of thermal resistance values can be predicted under extended states and the thermal transfer performance of fabric can be investigated then the temperatures of fabric surface can be predicted as thermal imaging process.

The estimation of clothing thermal comfort is very helpful for designing garments, especially sports and works garments where thermal comfort plays an crucial role for the status of the wearer. To make a method to realistic solution to virtualize the thermal comfort of clothing: virtual body properties, garment design, clothing drapability, thermal characteristics of fabric and the thermoregulation of the human body according to different conditions should be considered all together.

References

- [1] Power, J., (2013), Fabric objective measurements for commercial 3D virtual garment simulation, International Journal of Clothing Science and Technology, Cilt. 25, No. 6, 423-439s.
- [2] Papachristou, E. and Bilalis, N., 2015, How to Integrate Recent Development in Technology with digital Prototype Textile and Apparel Applications, Marmara Journal of Pure and Applied Sciences, 1: 32-39.
- [3] Wu, Y.Y., Mok, P.Y., Kwok, Y.L., Fan, J.T. and Xin, J.H., 2011, An Investigation on the Validity of 3D Clothing Simulation for Garment Fit Evaluation, International Conference on Innovative Methods in Product Desing, Proceedings of the IMProVe 2011, 463-468.
- [4] Gürsoy, F., Doğan, S. ve Kılınç, N., (2016), Comparison of the try-ons of a garment produced from Rize Fabric (Feretiko) in actual and virtual environments. 7. Uluslararası İstanbul Tekstil Konferansı (BEZCE 2016), 21- 23 Mart 2016, İstanbul.
- [5] Lee, E. and Park, H., 2017, 3D Virtual Fit Simulation Technology: Strengths And Areas of Improvement For Increased Industry Adoption, International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 10:1, 59-70.
- [6] Porterfield, A. and Lamar, T.A.M., 2017, Examining The Effectiveness Of Virtual Fitting With 3D Garment Simulation, International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 10:3, 320-330.
- [7] Awais, M., Wendt, E. and Krzywinski, S., 2019, Analysis on Thermal Comfort of Clothing with Different Textile

- Materials through Thermal Simulation, Proceedings of 3DBODY.TECH, 2019, pp.127-136.
- [8] Das, A. and Ishtiaque, S.M., 2014, Comfort Characteristics of Fabrics Containing Twist-less and Hollow Fibrous Assemblies in Weft, *J. Text. Apparel, Technol. Manag.*, no. January 2014,
- [9] Havenith, G., 1999, "Heat balance when wearing protective clothing," *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 43, no. 5, pp. 289–296.
- [10] Tugrul, R.O., 2007, The Effect of Thermal Insulation of Clothing on Human Thermal Comfort, *FIBRES Text. East. Eur.*, vol. 15, no. 2, pp. 67–72, 2007.
- [11] Duncan, S., McLellan, T. and Dickson, E.G., *Improving Comfort in Clothing*. 2011.
- [12] Psikuta, A., Jager, M., Mark, A., McGowan, H. Josji, A. and Kink, M., 2019, CLO3D Fashion Design Software – A Perspective for Virtual Thermal Modelling of Garments, Proceedings of 3DBODY.TECH 2019, pp. 126.
- [13] Kim, D.-E. and LaBat, K. 2013, An Exploratory Study of Users' Evaluations of The Accuracy and Fidelity of A Three-Dimensional Garment Simulation. *Textile Research Journal*, 83(2), 171-184.
- [14] Tama, D., & Öndoğan, Z. (2014). Fitting Evaluation of Pattern Making Systems According to Female Body Shapes. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 22(4), 107-111.
- [15] Spahiu, T., Shehi, E. and Piperi, E., 2015, Personalized Avatars For Virtual Garment Design And Simulation, *International Journal of Education, Science, Technology, Innovation, Health and Environment*, 1(3), pp.56-63.
- [16] Lin, S., Johnson, R. and Kang, J., 2018, Journal of Education, Science, Technology, Innovation, Health and Environment, *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 4(2), pp.124-129.
- [17] Lim, H. and Istook, L., 2011, Comparative Assessment of Virtual Garments using Direct and Manual Avatars, *The Research Journal of the Costume Culture*, 12, pp.1359-1371.
- [18] Harrison D., Fan, Y., Larionov, E. and Pai, D., 2018, Fitting Close-to-Body Garments with 3D Soft Body Avatars, Proceedings of 3DBODY.TECH 2018, pp.184-189.
- [19] Psikuta, A., Mert, E., Annahelm, S. and Rossi, R., Local Air Gap Thickness And Contact Area Models For Realistic Simulation Of Human Thermo-Physiological Response, *International Journal of Biometeorology*, 62, pp.1121-1134.
- [20] Mert, E., Psikuta, A., Bueno, M.A. and Rossi, R.M., 2015, Effect of Heterogenous and Homogenous Air Gaps on Dry Heat Loss Through The Garment. *International Journal of Biometeorol*, 59(11):1701–1710.
- [21] Mert, E., Böhmisch, S., Psikuta, A., Bueno, M.A. and Rossi, R.M., 2016, Contribution of Garment Fit and Style to Thermal Comfort at the Lower Body. *International Journal of Biometeorol*, 60(12), pp.1995–2004.
- [22] Mert, E., Psikuta, A., Bueno, M.A. and Rossi, R.M., 2017, The Effect of Body Postures on The Distribution of Air Gap Thickness and Contact Area. *International Journal of Biometeorol*, 61, pp.363–375.
- [23] Mert, E., Psikuta, A., Arevalo, M., Charbonnier, C., Luible-Bar, C., Bueno, M.A. and Rossi, R.M., 2017, Quantitative Validation of 3D Garment Simulation Software For Determination of Air Gap Thickness in Lower Body Garments, *Materials Science and Engineering*, 254, pp.1-5.
- [24] Hu, P., Ho, E., Aslam, N., Komura, T. And Shum, H., 2019, A New Method To Evaluate The Dynamic Air Gap Thickness And Garment Sliding of Virtual Clothes During Walking, *Textile Research Journal*, 89 (19-20), pp.4148-4161.
- [25] Mert, E., Psikuta, A., Arevalo, M., Charbonnier, C., Luible-Bar, C., Bueno, M.A. and Rossi, R.M., 2017, A Validation Methodology and Application of 3D Garment Simulation Software To Determine The Distribution of Air Layers in Garments During Walking, *Measurement*, 117, pp.153-164.
- [26] Mert, E., Böhmisch, S., Psikuta, A., Bueno, M.A., and Rossi, R.M., 2015, Determination of The Air Gap Thickness Underneath The Garment For Lower Body Using 3D Body Scanning, 6th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, 27-28 October 2015, Lugano, Switzerland.
- [27] Walter, L., Kartsounis, G.-A., and Carosio, S., 2009, From 3D Design to 2D Patterns Involving Realistic Drape/Fit and Comfort Simulation. In *Transforming Clothing Production into a -driven, Knowledge-based, High-tech Industry*, pp. 232.
- [28] Luible, C., and Magnenat-Thalmann, N. 2008, The Simulation of Cloth Using Accurate Physical Parameters. Tenth IASTED, International Conference on Computer Graphics and Imaging, pp. 123-128.
- [29] Frackiewicz-Kaczmarek, J., Psikuta, A., Bueno, M.A., and Rossi, R.M., 2015, Effect of Garment Properties On Air Gap Thickness And The Contact Area Distribution, *Textile Research Journal*, 85 (18), pp.1907-1918.
- [30] Hes, L., (2008), Non-Destructive Determination of Comfort Parameters During Marketing of Functional Garments And Clothing, *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 33, 239-245.
- [31] Matusiak, M. ve Sikorski, K., (2011), Relative Thermal Comfort Index as a Measure of the Usefulness of Fabrics for Winter Clothing Manufacturing, *Textile Research Institute*, 19, 6(69), 94-100.
- [32] Bajzik, V., Hes, L. ve Dolezal, I., (2016), Changes in Thermal Comfort Properties of Sports Wear and Underwear due to Their Wetting, *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 41, 161-166.
- [33] Matusiak, M., (2010), Thermal Comfort Index as a Method of Assessing the Thermal Comfort of Textile Materials, *Textile Research Institute*, 18, 2(79), 45-50. Space 10 pt



Giysi Endüstrisinde Üretim Performansının Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması

Cengiz Sertkaya^{1*}, Samet Akçay²

^{1*} Ostim Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7459-2473),

cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr

² Ostim Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5646-0629),

200801008@ostimteknik.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.979656)

ATIF/REFERENCE: Sertkaya, C. & Akçay, S. (2021). Giysi Endüstrisinde Üretim Performansının Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 34-39.

Öz

Digitalleşme çağında işletmeler kendilerini yeni teknolojilere adapte etmek istemektedirler. Bu yeni teknolojilere uyum sağlamak, verimlilik ve karlılığı arttırmak için verilerin işlenmesi ve akıllı karar verme sistemleri ile durumun analiz edilmesine ihtiyaç vardır. Özellikle büyük bir üretim hacmine sahip olan giysi endüstrisinde hem geleneksel işlemlerin devam etmesi hemde iş akışlarının insan performansına doğrudan bağlı olması verimliliği önemli bir ölçüde etkilemektedir. Böylece beklenen performans değerleri ile gerçek çıktılar arasında ciddi farklar görülmektedir.

Bu çalışmada veri madenciliği teknikleri uygulanarak örnek bir giysi endüstrisinde yer alan bir işletmeye ait veriler üzerinde analizler yapılmıştır. Bu işletmede işçilerin çalışma durumları incelenerek gerçek üretim performansını tahmin etmeye yönelik bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde %85 doğruluk değerine ulaşılmıştır. Modelin işletmelerin gerekli düzeltmeler ile üretim performanslarını ve verimliliklerini artırmasına ve aynı zamanda kayıpları minimum seviyeye indirmesine katkı sunacağı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üretim Performansı, Tahmin, Yapay Sinir Ağları

Using Artificial Neural Networks in Prediction of Production Performance in the Garment Industry

Abstract

In the age of digitalization, businesses want to adapt themselves to new technologies. In order to adapt to these new technologies and increase efficiency and profitability, there is a need for data processing and analysis of the situation with intelligent decision-making systems. Especially in the garment industry, which has a large production volume, both the continuation of traditional processes and the direct dependence of work flows on human performance affect productivity significantly. Thus, there are serious differences between the expected performance values and the actual outputs.

In this study, data mining techniques were applied and analyzes were made on the data of a business in a garment industry. In this enterprise, an artificial neural network model was created to predict the real production performance by examining the working conditions of the workers. When the results were examined, an accuracy value of 85% was reached. It has been shown that the model will contribute to increasing the production performance and efficiency of the enterprises with the necessary corrections and at the same time reducing the losses to the minimum level.

Keywords: Production Performance, Prediction, Artificial Neural Networks

* Sorumlu Yazar: cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde gelişen teknoloji ile nesnelerin interneti, verilerin kayıt edilmesi ve optimizasyon gibi kavramlar hayatımızın ayrılmaz bir parçası olmuştur. Endüstride sıklıkla gördüğümüz bu uygulamalar hem işletmelerin iş akışlarında iyileşme hemde kaynakların verimli kullanılmasını sağlamaktadır(Zhiqiang ve diğer. 2017). Türkiye ekonomisinde 11 milyar dolar üzerinde ihracat hacmine sahip giysi endüstrisi dünyada 60 milyondan fazla çalışan sayısı ile optimizasyon ve kaynak yönetiminin direk uygulama alanı olarak konumlandırılmaktadır(Bashimov 2014)(Lai ve Christiani 2013).

Giysi endüstrisi ağırlıklı olarak sıralı proseslere dayanmaktadır. Bu prosesler en temelde tasarım, örnek doğrulama, tedarik, hat planı, market planlama, dağıtma ve kesme, dikim, yıkama, nihai işlem ve paketlemeden oluşmaktadır(Rahim ve diğer. 2021)(Lee ve diğer. 2016). Halihazırda bu sektörde bir çok işlem manuel olarak yapılmaktadır. Bunun en önemli sebebi proseslerin hemen her bölümünde insana dayalı kısımların bulunmasıdır. Bahsedilen bu kısımlar verilerin kaydedilmesi, saklanması, işlenmesi ve verilerin yorumlanmasıdır. Bu işlemler günümüzde klasik yöntemler; örneğin çeklist, veri giriş formları gibi yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Veriler digital ortama aktarılmadığından dolayı çalışanların günlük ve periyodik çalışma istekleri, gelirleri, teşvik ve primleri, psikolojik durumları, kültürleri, ekip çalışmasına yatkınlıkları ve iletişim becerileri gibi etmenler efektif bir biçimde takip edilememektedir. Böylece işletmeler girdiler, çıktılar ve verimlilik arasındaki ilişkiyi doğru kuramamakta ve üretim performanslarını arttıramamaktadırlar. Manuel yöntemlerle yapılan bu işlemleri pratik bir şekilde yapmak, iş gücünü azaltmak ve verimliliği arttırmak için veri madenciliği ve yapay zeka teknolojilerinden yararlanılmaktadır(Wiğcek ve diğer. 2019).

Literatürde Danimarkada yapılan bir çalışmada, işçilerin çalışma ortamında karşılaştıkları sorunların işçi performansına ve iş bırakma oranlarına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada sonuç olarak ilk 5 yıl içinde firmalarını terk ettikleri tespit edilmiştir. Bu oranın %18 olarak bulunmuştur(Cottini ve diğer. 2011). İşe alım ve sosyal ekonomik duruma doğrudan etki eden endüstri alanı özelinde, Bangladeş'te yapılan bir çalışmada giysi endüstrisinde işçilerin yetenek durumu, doğru olmayan çalışma ortamı, sosyal uyumluluk gibi başlıca etkenlerin üretim performansına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada sadece %14 oranında iyi şartlarda olan giysi işçileri ile toplam ihracatın %81'i yapılmaktadır(Islam ve diğer. 2016).

Hibrit internet tabanlı analiz ve veri madenciliği yöntemi ile hata örüntüleri üzerine yapılan bir çalışmada akıllı kalite yönetim sistemi oluşturulmuştur(Lee ve diğer. 2013). Otomatik iş dağıtımı ve genel üretim kalitesini hedef alan bir diğer çalışmada ise beden tipi ve ölçüsü gibi antropometri bilimine dayalı özelliklerin etkileri incelenmiştir. Aşamalı küme ve istatistik yöntemleri kullanılmıştır. Ward minimum varyans metodu ve K-ortalama algoritması beraber kullanılarak çeşitli müşterilerin ihtiyacına yönelik iyileştirme yapılmıştır ve %95 kapsama oranına ulaşmışlardır(Hsu 2009).

Bir tekstil firmasında çalışanların performansını tahmin etmek amacıyla yapılan çalışmada Naive Bayes, GBT rastgele ağaç, ağaç topluluk gibi veri madenciliği teknikleri ile ağaç topluluk yöntemi ve gradyan yükseltme ağaç yapay zeka modeli

kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda doğruluk değeri %86.39 bulunmuştur(Rahim ve diğer. 2021). Başka bir tekstil firmasında yapılan çalışmada pantolon üretiminde çalışan 198 işçinin uzun çalışma saatlerine maruz kaldıklarında üretim adedi ve işçilerin performanslarının düştüğü saptanmıştır. Çalışmada yapay sinir ağları(YSA), çoklu lineer regresyon analizi, sınıflandırma ve regresyon ağaçları(CART) algoritması ve ki-kare otomatik etkileşim(CHAID) algoritma modelleri kullanılmıştır(Ersoz ve diğer. 2017).

İşçilerin gerçek üretkenlik değerini derin sinir ağı modeli ile tahmin eden çalışmada 0.086 ortalama hata karesi değeri elde edilmiştir(Imran ve diğer 2019). Altı aylık pilot bir çalışmada, bulanık birliktelik kuramı ve özyinelemeli veri madenciliği kullanılarak küçük, büyük ve kritik kalite hatalarında sırasıyla %7, %20 ve %24 azalma, aynı zamanda üretim zamanı ve yeniden işlem maliyetinde de sırasıyla %26 ve %30 iyileştirme sağlanmıştır(Lee ve diğer. 2014).

Bu çalışmada giysi endüstrisi için işçilerinin üretkenliğini ifade eden performans değerlerini tahmin etmek amacıyla yapay zeka yöntemlerinden yapay sinir ağı kullanılmıştır. Yapay sinir ağı modelinin başarısını yükseltmek amacıyla kullanılan veri seti üzerinde veri madenciliği yöntemleri uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Şekil 1'de gösterilen adımlar uygulanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada izlenen adımlar

2.1. Veri Toplama

Bu çalışmada kullanılan veri seti UCI(UC Irvine Machine Learning Repository) makine öğrenmesi veri tabanından elde edilmiştir. Veri seti içerisinde bir giysi üretim firmasının üç ay boyunca günlük gerçek üretim verileri toplanarak oluşturulmuştur. Toplamda 1153 örnek ve 15 adet öznelikten oluşmaktadır(PPGE 2021). Öznelikler ve açıklamaları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Öznelikler ve açıklamaları

Öznelik	Açıklama
Tarih	Gün/Ay/Yıl olarak verinin alındığı tarih
Gün	Haftanın günleri
Çeyrek	Ayın bölümleri. Ay dört çeyrekte oluşmaktadır
Departman	İlgili birim, dikiş veya bitirme işlemi
Takım No	Takım numarası
Stil değişme sayısı	Üründe stil değişiklik sayısı
Hedef üretkenlik	Yönetici tarafından her takım için her güne atanan hedef değer
Görev süresi	Dakika üzerinden her görev için ayrılan zaman
Devam eden iş sayısı	Bitmemiş işlerin sayısı
Süre aşımı	Her takımın dakika olarak yaptığı süre aşımı
Teşvik	Motive edici finansal yardım

Bekleme zamanı	İşin farklı sebeplerden dolayı bölünmesi sonucu oluşan bekleme zamanı
Bekleyen işçi	İşin farklı sebeplerden dolayı bölünmesi sonucu oluşan bekleyen işçi sayısı
İşçi sayısı	Her takımdaki çalışan sayısı
Gerçek üretkenlik	Gerçek üretkenlik değeri 0 - 1 arasında

2.2. Sayısallaştırma

Verilerin yapay zeka modellerinde işlenebilmesi için sayısal hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu aşamada sayısal olmayan öznitelikler Tablo 2’de gösterildiği gibi sayısal hale getirilmiştir.

Tablo 2. Gerçekleştirilen sayısallaştırma işlemi

	İfadeler	Sayısal Değer
Gün	Pazartesi	0
	Salı	1
	Çarşamba	2
	Perşembe	3
	Cumartesi	4
	Pazar	5
Çeyrek	Birinci Çeyrek	1
	İkinci Çeyrek	2
	Üçüncü Çeyrek	3
	Dördüncü Çeyrek	4
Departman	Dikiş	0
	Bitirme işlemi	1

2.3. Veri Temizleme ve Ayıklama

Ham verilerde gürültü, eksik veri veya uygun olmayan veriler bulunabilmektedir. Değeri girilmemiş(eksik) ve doğru kayıt edilmediği düşünülen(gürültülü) veriler kurulacak olan yapay zeka modelinde başarıyı etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle eksik ve gürültülü verilerin verisetinden temizlenmesi gerekmektedir(Heaton 2008).

Veri temizleme sürecinde eksik ve gürültülü veri temizliğine ek olarak öznitelikler de incelenmiştir. Buna göre örneğin tarih özniteliği için tutulan verilerin birbirini takip eden günlerde verileri gün/ay/yıl şeklinde kayıt altına alınarak elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmada zaman serisi tahmini yapmak amaçlanmadığından tarih alanı tahminde bulunacağımız olguya yardımcı olmamaktadır. Bu nedenle tarih alanı veri setinden çıkarılmıştır. Böylece 14 adet öznitelik ile diğer aşamalara geçilmiştir.

Özniteliklerin herbiri için ayrı grafikler oluşturularak verilerin değişimi değerlendirilmiştir. Bu sayede veri içindeki aşırılık noktaları tespit edilip modelin eğitilmesinde problem oluşturacak gürültülü olarak tanımlanan bu noktalar veriden temizlenmiştir. Her bir öznitelik için yapılan işlemler sonucu toplamda 152 adet örnek veri silinmiştir. Geriye kalan 1001 adet veri örneği modelin oluşturulmasında kullanılmıştır.

2.4. Normalizasyon

Elde kalan veriler kullanılarak her bir öznitelik için verilerin aralıklarını gösteren minimum ve maksimum değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. Özniteliklerin değer aralıkları

Öznitelik	Minumum Değer	Maksimum Değer
Gün	0	5
Çeyrek	1	4
Departman	0	1
Takım No	1	12
Stil değişme sayısı	0	2
Hedef üretkenlik	0,35	0,8
Görev süresi	2,9	30,48
Devam eden iş sayısı	0	1500
Süre aşımı	0	10620
Teşvik	0	113
Bekleme zamanı	0	5
Bekleyen işçi	0	30
İşçi sayısı	8	60
Gerçek üretkenlik	0,31	1,00

Tablo 3’te görüldüğü üzere özniteliklerin değer değişimlerinin birbiri arasında önemli farklar bulunmaktadır. Verinin bu şekilde yapay zeka modeline verilmesi modelin geliştirilmesinde olumsuz etkiler oluşturacağından özniteliklerin aynı aralığa getirilmesi amacıyla normalizasyon işlemi uygulanabilmektedir(Aksu ve diğer. 2019). Bu amaçla Denklem 1’de verilen normalizasyon formülü kullanılarak öznitelikler 0-1 aralığına getirilmiştir.

$$X_{nor} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Burada X_{nor} normalize edilmiş değeri, X öznitelik değerini, X_{min} özniteliğin minimum, X_{max} ise maksimum değerini ifade etmektedir.

2.5. Öznitelik Seçimi

Yapay zeka modelleri kurulurken girişte verilen özniteliklerin hangilerinin çıkış özniteliği ile ilgili olduğu öznitelik seçimi ile belirlenmektedir. Literatürde bu amaçla en yaygın kullanılan tekniklerden Temel Bileşen Analizi(TBA) yöntemi bu çalışma kapsamında kullanılmıştır(Tamilselvi ve Kalaiselvi 2013). TBA hesaplanırken iki değişken arasında doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü belirten korelasyon hesaplaması yapılmaktadır. Sonrasında belirlenen bir eşik değer üzerinden giriş özniteliklerinden ilişki değeri eşik değer altında kalan öznitelikler modelden çıkarılmaktadır. Bu yönüyle TBA aynı zamanda giriş özellik azaltma yöntemi olarak da bilinmektedir(Kumar ve Chong 2018). Kullanılan korelasyon formülü Denklem 2’de gösterilmektedir.

$$C_{(x,y)} = \frac{\sum(x-\bar{x})*(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2*\sum(y-\bar{y})^2}} \quad (2)$$

$C_{(x,y)}$ korelasyon değerini, x giriş değerini, y çıkış değerini, \bar{x} ve \bar{y} sırasıyla giriş ve çıkış değer ortalamalarını göstermektedir.

TBA hesaplaması sonucu elde edilen değerler Tablo 4' te gösterilmektedir.

Tablo 4. TBA sonuçları

	Çıkış
Giriş Özniteliği	Gerçek üretkenlik
Gün	-0,009
Çeyrek	-0,080
Departman	0,087
Takım No	-0,105
Stil değişme sayısı	-0,211
Görev süresi	-0,101
Devam eden iş sayısı	0,003
Süre aşımı	-0,041
Teşvik	0,269
Bekleme zamanı	-0,072
Bekleyen işçi	-0,074
İşçi sayısı	-0,059
Gerçek üretkenlik	0,432

TBA sonuçları incelendiğinde girişler ve çıkış arasında doğrusal ilişkinin oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu durum incelenen problemin de zor bir problem olduğunu göstermektedir. İlişki düzeyinin düşük olması nedeniyle eşik değer çok fazla öznitelik kaybı yaşamamak adına 0.05 olarak tercih edilmiştir. Tablo 4'te kırmızı renkte işaretlenmiş öznitelikler eşik değerinin altında kaldığından verisetinden çıkarılmıştır. Buna göre model oluşturma işlemine 10 giriş ve 1 çıkış özniteliği ile devam edilmiştir.

Veri madenciliği teknikleri uygulandıktan sonra geliştirilecek olan yapay zeka modelinde kullanılmak üzere elde kalan veri setinin tamamı üzerinden eğitim ve test veri oluşturulmuştur. Bu işlemde literatürde yaygın olarak kullanılan metodlardan veri setinin %70'i eğitim ve %30'u test olmak üzere ayırma yöntemi izlenmiştir(Crowther ve Cox 2005). Buna göre toplamda 1001 satır örnek bulunan veriseti, eğitim için 700 ve test için 301 olmak üzere veri setleri oluşturulmuştur.

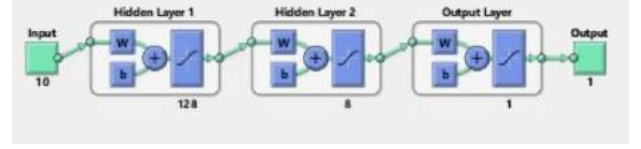
2.6. Yapay Sinir Ağı Modeli

Yapay sinir ağı(YSA) model oluşturma işlemlerinde literatürde yaygın olarak kullanılan Matlab programının nntool aracı tercih edilmiştir(MATH 2021).

Oluşturulması planlanan YSA türü belirlenirken, yapılan denemeler sonucu en iyi sonuca ulaşılan ileri beslemeli geri yayımlı (FFBP) YSA seçilmiştir.

YSA ile yapılan çalışmalarda nöron sayısı, katman sayısı, eğitim ve adaptasyon fonksiyonları gibi parametrelerin seçimi modelin başarısını doğrudan etkilediğinden oldukça önemlidir. Ancak bu parametrelerin seçiminde belirgin bir metod bulunmadığından seçim işlemi genellikle rastgele olmaktadır. YSA modeli oluşturulurken ara katmanlardaki nöron sayıları

seçiminde ise bilgisayar mimarisine en uygun olan 2^n tekniği kullanılmaktadır(Sheela ve Deepa 2018). Yapılan denemeler sonucunda en iyi sonucu verdiği için iki ara katmandan oluşan ve her bir ara katmanda sırasıyla 128, 8 nöronun bulunduğu bir YSA modeli oluşturulmuştur. Parametrelerin seçimi sonrası oluşan YSA modeli Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. FFBP YSA model yapısı

Problemimiz gradyan azaltma ve denetimli öğrenme yapay zeka modeline uygun olduğundan ve aynı zamanda en iyi sonucu verdiğinden bu öğrenme fonksiyonu seçilmiştir. Eğitim fonksiyonu için Denklem 3'te gösterilen momentum gradyan düşüş ve ayarlanabilir öğrenme hızı algoritması(3) seçilmiştir(Arthur ve diğer 2020).

$$dM = \gamma * (dM_{\text{önceki}}) + \alpha * \gamma * \frac{dQ}{dM} \quad (3)$$

Burada $dM_{\text{önceki}}$ ağırlık veya sapmada bir önceki değişimi, γ momentum sabiti, α öğrenme hızı, Q performansı temsil etmektedir.

Adaptasyon fonksiyonu için Denklem 4'te verilen momentum ağırlık ve sapma ile çalışan gradyan düşüş formülü kullanılmıştır.

$$dW = mc * dW_{\text{önceki}} + (1 - mc) * lr * gW \quad (4)$$

dW hesaplanan ağırlık değişimi, gW gradyan ağırlık, lr öğrenme hızı, mc momentum sabitini ve $dW_{\text{önceki}}$ öğrenme durumunda bir önceki kayıt edilen ağırlık değişimini temsil etmektedir.

Aktivasyon fonksiyonu olarak Denklem 5'te gösterilen tanjant sigmoid formülü kullanılmıştır. Fonksiyonun değişim aralığı olan $[-1, 1]$ arasında toplam girişe bağlı olarak lineer olmayan bir değişim göstermektedir.

$$fn = \frac{2}{1 + \exp(-\lambda n)} - 1 \quad (5)$$

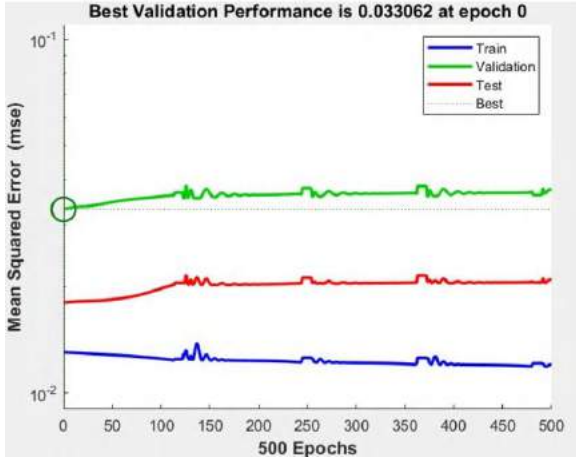
Burada λ diklik veya eğim katsayısını ifade etmektedir.

Modelin eğitim sürecinin izlenmesi ve değerlendirilmesi için Denklem 6'da gösterilen ortalama hata karesi(MSE) metodundan faydalanılmıştır.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (6)$$

Burada N veri sayısını, Y_i gerçek değeri ve \hat{Y}_i tahmin edilen değeri temsil etmektedir. MSE sonucunda model başarısının iyi olması için bu değerinin sıfıra yakın olması beklenmektedir.

YSA modelinin simülasyonu sırasında elde edilen MSE değerlerini gösteren grafik Şekil 3'te sunulmaktadır.



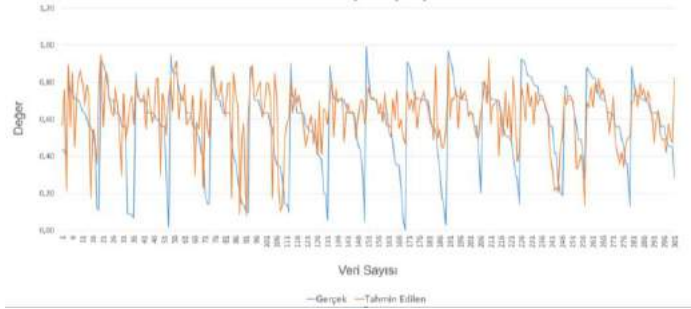
Şekil 3. YSA model similasyonu MSE değişimi

Grafikten görüldüğü gibi model similasyonu sırasında elde edilen MSE değeri 0.033062 olarak bulunmuştur. MSE değerinin sıfıra yakın olması sistemin başarılı bir şekilde eğitildiğini göstermektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Sonuçlar

Geliştirilen YSA modelinin similasyonu sonucunda test verilerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Gerçek ve tahmin edilen değerlerin değişimini gösteren grafik Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. YSA test similasyonu

Şekil 4'teki grafikte görüldüğü üzere 301 adet test verisinin elde edilen tahmin ve gerçek üretim performansı değerlerinin birbirini ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Sistemin başarısının sayısal olarak ölçülmesi için gerçek ve tahmin edilen üretim değerleri üzerinden Denklem 7'de verilen doğruluk değeri hesaplanmıştır.

$$D = \left(\frac{O_i - E_{ort}}{O_i} \right) * 100 \quad (7)$$

Burada D doğruluk değerini, E_{ort} tahmin ve gerçek değer farkının ortalamasını ve O_i olması gereken aralığı temsil etmektedir. Geliştirilen modelin doğruluk değeri %85 olarak hesaplanmıştır.

3.2. Tartışma

Örnek bir giysi işletmesindeki gerçek veriler üzerinde yapılması gereken sayısallaştırma, temizleme, ayıklama ve normalizasyon gibi veri madenciliği aşamaları detaylı şekilde uygulanmıştır.

Elde edilen öznitelikler üzerinde TBA analizi yapılarak giriş ve çıkış öznitelikleri arasında ilişkiler ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca TBA metodu ile giriş öznitelik sayısı azaltılarak önerilen YSA modelinin daha az öznitelik verisi işleme sağlanarak model çalışma performansı artırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada önerilen YSA modeli ile %85 başarı değerine ulaşılmıştır. Bu anlamda geliştirilen yapay zeka modelinin giysi endüstrisinde çalışan işçilerin üretkenlik performans değerlerinin tahmininde kullanılabilir bir model olduğu gösterilmiştir.

Önerilen sistem ile işçi performansının tahmini gerçekleştirilerek bu sektörde faaliyet gösteren işletmelerin verimlilik, pratiklik ve digital dönüşüm açısından geliştirilmesine katkı sağlanabilir.

İleriki çalışmalarda farklı veri madenciliği teknikleri ve yapay zeka modelleri uygulanabilir. Bu şekilde elde edilen model similasyonu sonuçları karşılaştırılabilir.

Kaynakça

- Aksu, G., Güzeller, C. O., Eser, M. T. (2019), "The Effect of the Normalization Method Used in Different Sample Sizes on the Success of Artificial Neural Network Model", International Journal of Assessment Tools in Education, Vol. 6, No. 2, p. 170-192.
- Arthur, C. K., Temeng, V. A., Ziggah, Y. Y. (2020), "Performance Evaluation of Training Algorithms in Backpropagation Neural Network Approach to Blast-Induced Ground Vibration Prediction", Ghana Mining Journal, Vol. 20, No. 1, p. 20 – 33.
- Bashimov, G. (2014), "Tekstil ve Hazır Giyim Sektörünün Karşılaştırmalı Avantajı: Türkiye ve Pakistan Örneği", BEU.SBU.Derg., Cilt:3, Sayı:1.
- Cottini, E., Kato, T., Westergaard-Nielsen, N. (2011), "Adverse Workplace Conditions, High-Involvement Work Practices And Labor Turnover: Evidence From Danish Linked Employer–Employee Data", Labour Economics, Vol. 18, No. 6, p. 872-880.
- Crowther, P. S., Cox, R. J. (2005), "A Method for Optimal Division of Data Sets for Use in Neural Networks", 9th International Conference KES.
- Ersoz, F., Ersoz, T., Guler, E. (2017), "Knowledge Discovery And Data Mining Techniques In Textile Industry", World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, Vol. 11, No. 7, p. 906–910.
- Heaton, J. (2008), "Introduction to neural networks with Java", Heaton Research, Inc.; 2 edition.
- Hsu, C.H. (2009), "Data Mining To Improve Industrial Standards And Enhance Production And Marketing: An Empirical Study In Apparel Industry", Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 3, p. 4185–4191.
- Imran, A. A., Amin, M. N., Islam Rifat, M. R., Mehreen, S. (2019), "Deep Neural Network Approach for Predicting the Productivity of Garment Employees", 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies.
- Islam, M. S., Rakib, M. A., Adnan, A. T. M. (2016), "Ready-Made Garments Sector of Bangladesh: Its Contribution and

- Challenges Towards Development”, *Journal of Asian development studies*, Vol. 5, No. 2.
- Kumar, S., Chong, I. (2018), “Correlation Analysis to Identify the Effective Data in Machine Learning: Prediction of Depressive Disorder and Emotion States”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 15.
- Lai, P.S. and Christiani, D.C. (2013), “Long Term Respiratory Health Effects In Textile Workers”, *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, Vol. 19, No. 2, p.152.
- Lee, C. K. H., Choy, K. L., Ho, G. T., Chin, K. S., Law, K. M. Y., Tse, Y. K. (2013), “A Hybrid OLAP-Association Rule Mining Based Quality Management System For Extracting Defect Patterns In The Garment Industry”, *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, No. 7, p. 2435-2446.
- Lee, C. K. H., Ho, G. T. S., Choy, K. L., Lam, C.H.Y. (2016), “A Slippery Genetic Algorithm-Based Process Mining System For Achievingbetter Quality Assurance In The Garment Industry”, *Expert Systems With Applications*, Vol. 46, p. 236–248.
- Lee, C. K. H., Ho, G. T. S., Choy, K. L., Pang, G. K. H. (2014), “A RFID-Based Recursive Process Mining System For Quality Assurance In The Garment Industry”, *International journal of production research*, Vol. 52, No. 14, p. 4216-4238.
- MATH,<https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/nntool.html>, 22 Nisan 2021.
- PPGE,<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Productivity+Prediction+of+Garment+Employees>, 22 Nisan 2021.
- Rahim, M. S., Imran, A. A., Ahmed, T. (2021), “Mining The Productivity Data of Garment Industry”, *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*.
- Sheela, K. G., Deepa, S. N. (2013), "Review on Methods to Fix Number of Hidden Neurons in Neural Networks", *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, p. 11.
- Tamilselvi, R., Kalaiselvi, S. (2013), “An Overview of Data Mining Techniques and Applications”, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Vol. 2, No. 2.
- Wiğcek, D., Burduk, A., Kuric, I. (2019), “The Use of ANN In Improving Efficiency and Ensuring The Stability of The Copper Ore Mining Process”, *Acta Montanistica Slovaca*, Vol. 24, No. 1, p. 1-14.
- Zhiqiang, G., Zhihuan S., Steven, X. D., Biao, H. (2017), *Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning*, *IEEE Access*, Vol. 5, p. 20590 – 20616.



Identification and Analysis of microRNA-Disease Associations with Kernelized Bayesian Matrix Factorization

Ahmet Toprak^{1*}, Esmâ Eryılmaz Doğan²

^{1*} Selçuk Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3337-4917), ahmettoprak42@gmail.com

² Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6809-7513), eeryilmaz@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.980257)

ATIF/REFERENCE: Toprak, A. & Eryılmaz Doğan, E. (2021). Identification and Analysis of microRNA-Disease Associations with Kernelized Bayesian Matrix Factorization. *European Journal of Science and Technology*, (28), 40-45.

Abstract

MicroRNA (miRNA) molecules, which are effective on the initiation and progression of many different diseases, are a type of non-coding RNA with a length of about 22 nucleotides. Scientists have reported the importance of miRNAs in the prevention, diagnosis, and treatment of complex human diseases. Therefore, in the last decade, researchers have been working hard to find potential miRNA-disease associations. Many computational techniques have been developed because of the experimental techniques are time-consuming and expensive used to find new relationships between miRNAs and diseases. In this study, we suggested Kernelized Bayesian matrix factorization (KBMF) technique to predict new miRNA-disease relationships. We applied 5-fold cross validation technique and obtained an average value AUC of 0.9450. Also, we applied case studies based on breast, lung, and colon neoplasms to prove the performance of KBMF technique. The results showed that KBMF can be used as a reliable computational model to reveal possible miRNA-disease relationships.

Keywords: miRNA, disease, miRNA-Disease Association, similarity measure.

Kernelized Bayesian Matris Faktörizasyonu ile mikroRNA-Hastalık İlişkilerinin Tanımlanması ve Analizi

Öz

Birçok farklı hastalığın başlamasında ve ilerlemesinde etkili olan mikroRNA (miRNA) molekülleri yaklaşık 22 nükleotid uzunluğunda kodla yapmayan bir RNA türüdür. Bilim insanları karmaşık insan hastalıklarının önlenmesi, teşhisi ve tedavisinde miRNA'ların önemini açıklamıştır. Bu nedenle son yıllarda araştırmacılar potansiyel miRNA-hastalık ilişkilerini bulmak için çok çalışmaktalar. miRNA'lar ve hastalıklar arasında yeni ilişkiler bulmak için kullanılan deneysel tekniklerin zaman alıcı ve pahalı olması nedeniyle birçok hesaplama tekniği geliştirilmiştir. Bu çalışmada yeni miRNA-hastalık ilişkilerini tahmin etmek için Kernelized Bayesian matrix factorization (KBMF) tekniğini önerdik. 5-katlı çapraz doğrulama tekniği uyguladık ve 0.9450 ortalama AUC değeri elde ettik. Ayrıca KBMF tekniğinin performansını kanıtlamak için meme, akciğer ve kolon neoplazmalarına dayalı vaka çalışmaları uyguladık. Sonuçlar KBMF'nin olası miRNA-hastalık ilişkilerini ortaya çıkarmak için güvenilir bir hesaplama modeli olarak kullanılabileceğini gösterdi.

Anahtar Kelimeler: miRNA, hastalık, miRNA-hastalık ilişkisi, benzerlik ölçümü.

* Sorumlu Yazar: ahmettoprak42@gmail.com

1. Introduction

MicroRNAs are a type of non-coding RNAs with a length of about 22 nucleotides. Several research studies have concluded that miRNAs have important functions in various basic biological processes such as cell development, signal transduction, proliferation, apoptosis, differentiation, viral infection, metabolism, and aging (Bartel, 2009; Chen, Zhou, & Zhao, 2018; Lan et al., 2018; Tang, Zhou, Zheng, Zhang, & Sha, 2019). With the development of molecular biology and biotechnology, researchers have revealed that miRNAs have an important links with many diseases (X. Chen et al., 2016; Kim, 2015). For example, miRNA de-regulation triggers the development of various cancers such as breast, skin, lung, colon, prostate etc. Furthermore, down-regulations of miRNA-143 and miRNA-145 have been observed in colorectal tumors and especially breast cancer (Espinosa & Slack, 2006).

Various types of databases such as miRBase (Kozomara & Griffiths-Jones, 2013), HMDD (Y. Li et al., 2014), miR2Disease (Q. Jiang et al., 2009), miRGen (Alexiou et al., 2009), deepBase (J.-H. Yang, Shao, Zhou, Chen, & Qu, 2009), and dbDEMC (Z. Yang et al., 2010) have been developed to store miRNA related data. These databases include human miRNA-disease relationships and provide differentially expressed miRNAs for cancers.

Computational techniques are used to estimate potential miRNA-disease relationships, as determination of miRNAs-disease relationships by biological experimental techniques is time consuming and very expensive (Mugunga, Ju, Liu, & Huang, 2017). In recent years, many new computational techniques such as WBSMDA (X. Chen et al., 2016), RKNMMDA (Chen, Wu, & Yan, 2017), BNPMDA (X. Chen, D. Xie, et al., 2018), EGBMMDA (Chen, Huang, Xie, & Zhao, 2018), LRSSLMDA (Chen & Huang, 2017), NDAMDA (Chen, Wang, & Huang, 2018), MCMMDA (J.-Q. Li, Rong, Chen, Yan, & You, 2017), NSEMMDA (C. C. Wang, Chen, Yin, & Qu, 2019), HDMP (Xuan et al., 2013), MaxFlow (Yu, Chen, & Lu, 2017), and SACMDA (Shao, Liu, & Yan, 2018) have been developed by scientists to predict possible miRNA-disease relationships. Understanding the complex disease mechanism at the molecular level of miRNA may be possible by predicting new miRNA-disease relationships. Thus, the diagnosis, treatment, prognosis, and prevention of diseases can be provided with its contribution to the field of personalized medicine (Chen, 2015; Chen, Huang, Wang, You, & Chan, 2016).

In this study, first of all we calculated the functional similarity (*FS*) for each miRNA and the semantic similarity (*SS*) for each disease. Secondly, we calculated the Gaussian Interaction Profile (GIP) kernel similarities for both miRNA and disease. Thirdly, we integrated the miRNA GIP kernel similarity with *FS* and the disease GIP kernel similarity with *SS*. Lastly, we estimated the potential relationships between miRNAs and diseases by analyzing these data with the Kernelized Bayesian Matrix Factorization (KBMF) method. We evaluated the success of our model with the most widely used 5-fold cross-validation technique and several case studies.

2. Material and Method

We obtained 495 miRNAs and 383 diseases data set from the HMDD v2.0. This data set includes 5430 miRNA-disease
e-ISSN: 2148-2683

relationships that were experimentally verified (Y. Li et al., 2014). The relationships between miRNAs and diseases are represented by constructing an adjacency matrix ($A_{495 \times 383}$) matrix.

2.1. miRNA Functional Similarity (*FS*) and Disease Semantic Similarity (*SS*)

The functional similarity scores calculated using the method proposed by Wang et al. (D. Wang, Wang, Lu, Song, & Cui, 2010) were obtained from the web address <http://www.cuilab.cn/files/images/cuilab/misim.zip>.

To calculate disease semantic similarity, we first downloaded the Medical Subject Headings (MeSH) definitions from the web page of National Library of Medicine (<http://www.nlm.nih.gov>). The connections between various diseases can be explained by using Directed Acyclic Graph (DAG). In DAG_A , when calculating the semantic value of disease A , the contribution of other diseases can be expressed as given below:

$$\begin{cases} D_A(A) = 1 \\ D_A(t) = \max\{\Delta * D_A(t') | t' \in \text{children of } t\} \quad \text{if } t \neq A \end{cases} \quad (1)$$

where Δ represents the contribution coefficient between disease t with its child disease t' . Moreover, the semantic value (*DV*) of disease A can be described with Eq. 2.

$$DV(A) = \sum_{t \in T_A} D_A(t) \quad (2)$$

The *SS* between disease A and disease B can be computed as shown below:

$$SS(A, B) = \frac{\sum_{t \in T_A \cap T_B} (D_A(t) + D_B(t))}{DV(A) + DV(B)} \quad (3)$$

where all ancestor of disease A and disease B , including disease A and disease B themselves, are represented by T_A and T_B . $DA(t)$ and $DB(t)$ represent the semantic value of disease t associated with disease A and disease B , respectively. Semantic similarity of each disease is calculated according to the Eq. 3 (D. Wang et al., 2010).

2.2. Gaussian Interaction Profile (GIP) Kernel Similarity for miRNAs and Diseases

Assuming that similar diseases tend to be associated with miRNAs with similar functions, we have created miRNA GIP kernel similarity and disease GIP kernel similarity (Lan et al., 2018; van Laarhoven, Nabuurs, & Marchiori, 2011). The GIP kernel similarity value (*GM*) between miRNA $m(i)$ and miRNA $m(j)$ can be computed with Eq. 4.

$$GM(m_i, m_j) = \exp\left(-\gamma_m \|IP(m_i) - IP(m_j)\|^2\right) \quad (4)$$

Similarly, the GIP kernel similarity value (*GD*) between disease $d(i)$ and disease $d(j)$ can be computed with Eq. 5.

$$GD(d_i, d_j) = \exp\left(-\gamma_d \|IP(d_i) - IP(d_j)\|^2\right) \quad (5)$$

Here, γ_m and γ_d parameters control kernel bandwidth and can be obtained from the Eq. 6 and Eq. 7.

$$\gamma_m = \frac{\delta_m}{\frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} \|IP(m_i)\|^2} \quad (6)$$

$$\gamma_d = \frac{\delta_d}{\frac{1}{n_d} \sum_{i=1}^{n_d} \|IP(d_i)\|^2} \quad (7)$$

The parameters δ_m and δ_d and represent the new bandwidth parameters and were adjusted to 1 according to (van Laarhoven et

al., 2011) for simplicity. In addition, all miRNA numbers and all disease numbers were indicated by n_m and n_d , respectively.

2.3. Integrated Similarity for miRNAs and Diseases

We have integrated the functional similarity and the GIP kernel similarity of miRNAs using Eq. 8.

$$SM = \beta xGM + (1 - \beta)xFS \quad (8)$$

Similarly, we have combined the semantic similarity and the GIP kernel similarity of diseases with Eq. 9.

$$SD = \beta xGD + (1 - \beta)xSS \quad (9)$$

where, β was assumed to be 0.5.

2.4. Kernelized Bayesian Matrix Factorization (KBFM)

The KBFM described in detail in the study reported by Gönen et al. (Gönen, Khan, & Kaski, 2013) is an effective way to obtain a bipartite graph by multiple data source integration. We assume that miRNAs and diseases come from two domains: $X = \{m_1, m_2, \dots, m_{N_x}\}$ and $Z = \{d_1, d_2, \dots, d_{N_z}\}$, respectively. In order to calculate potential interaction between miRNAs and diseases, we have multiple kernel matrix, namely $\{K_{x,m}: X \times X \rightarrow \mathbb{R}\}_{m=1}^{P_x}$ and $\{K_{z,n}: Z \times Z \rightarrow \mathbb{R}\}_{n=1}^{P_z}$ by calculating miRNA similarity domain and disease similarity domain, respectively. The number of miRNA kernel matrix and the number of disease kernel matrix have given with P_x and P_z . Adjacency matrix $A \in \{0,1\}^{N_x \times N_z}$ shows known miRNAs-diseases interactions (Ammad-Ud-Din et al., 2014; Gönen et al., 2013).

$$A_j^i = \begin{cases} +1 & \text{if } x_i \text{ and } z_j \text{ are interacting} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

3. Results

3.1. 5-fold Cross Validation (CV) Technique

We tested the predictive ability of the KBFM method we used in this study with a 5-fold cross validation technique. In this validation technique, we divided all known miRNA-disease relationships into five subgroups. For testing of the model four of the 5 subgroups were used as training data and one as test data. Additionally, we have computed false positive rate (FPR) and true positive rate (TPR) and have plotted the receiver operator characteristics (ROC) curve according to the results, then have computed the area under the ROC curve (AUC) for performance evaluations.

As a result, we plotted the ROC curve shown in Fig. 1, and computed AUC value of 0.9450 for 5-fold cross-validation. We compared the results with the other eight techniques of WBSMDA (X. Chen et al., 2016), MCMDA (J.-Q. Li et al., 2017), RKNNMDA (Chen et al., 2017), NSEMDA (C. C. Wang et al., 2019), BNPMDA (X. Chen, D. Xie, et al., 2018), EGBMMDA (X. Chen, L. Huang, et al., 2018), LRSSLMDA (Chen & Huang, 2017), and NDAMDA (X. Chen, L. Y. Wang, et al., 2018) to prove the performance of KBFM method we used. The other eight methods, using 5-fold cross-validation technique, had AUC values of 0.8185, 0.8767, 0.6723, 0.8878, 0.8980, 0.9048, 0.9181, and 0.8935, respectively. Figure 2 shows the comparative AUC

values. Here, it is clearly seen that KBFM method gives a better result than the other eight compared methods.

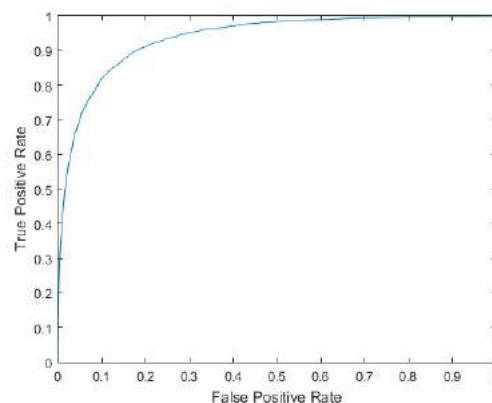


Figure 1. AUC value of KBFM

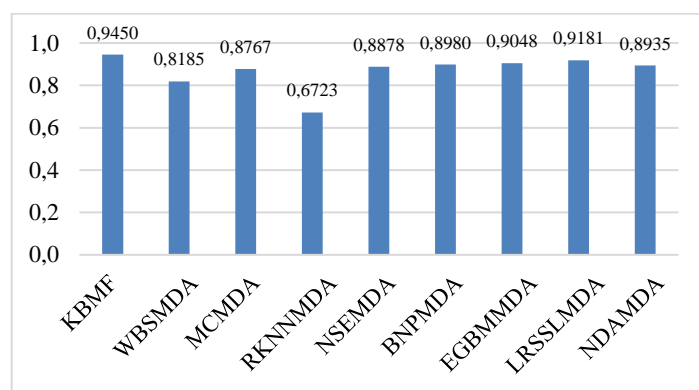


Figure 2. Comparison of the AUC values of KBFM with the other eight methods

3.2. Case Studies

In order to predictive accuracy demonstration of the KBFM method, three case studies have been conducted based on breast, lung, and colon neoplasms from databases of miR2Disease, dbDEMOC, and HMDD v2.0. In our model, we used 5430 known miRNA-disease relationships from HMDD v2.0 as a training set. In this training set, we made the known relationships for each disease to zero. Based on the results obtained, all miRNAs for three diseases were ranked according to their scores. Then, the first 20 miRNAs predicted for each disease were confirmed from three different databases mentioned above.

Breast neoplasms, which cause many deaths each year, are the most common type of female cancer among female cancers and comprise approximately 22% of female cancers (Al-Hajj, Wicha, Benito-Hernandez, Morrison, & Clarke, 2003; Qinghua Jiang et al., 2010). The list of the top 20 candidate miRNAs predicted by our method for breast neoplasm is shown in Table 1. We have confirmed all 20 miRNAs are 100% associated with breast cancer from the mentioned databases.

Lung neoplasms are one of the main factors in cancer-related deaths in the world. We have listed the top 20 candidate miRNAs for lung neoplasm using the same method (shown in Table 2). Examining the table, it can be seen that 19 out of 20 candidate miRNAs were confirmed to be associated with lung cancer. In other words, we can say that 95% of candidate miRNAs are associated with lung cancer.

Table 1. Prediction results of the top 20 predicted miRNAs related with breast neoplasm

Disease	miRNA	Database
Breast Neoplasms	hsa-let-7a	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-let-7b	dbDEMC,HMDD
	hsa-let-7c	dbDEMC,HMDD
	hsa-let-7d	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-200c	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-let-7e	dbDEMC,HMDD
	hsa-let-7f	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-let-7g	dbDEMC,HMDD
	hsa-mir-200b	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-let-7i	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-200a	miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-126	miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-145	miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-34c	dbDEMC,HMDD
	hsa-mir-1	dbDEMC
	hsa-mir-141	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-218	HMDD
	hsa-mir-100	dbDEMC,HMDD
	hsa-mir-34b	HMDD
	hsa-mir-221	miR2Disease,HMDD

Disease	miRNA	Database
Colon Neoplasms	hsa-mir-155	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-mir-17	HMDD
	hsa-mir-20a	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-let-7a	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-let-7b	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-let-7d	dbDEMC
	hsa-mir-18a	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-let-7c	dbDEMC
	hsa-let-7e	dbDEMC
	hsa-mir-19b	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-let-7f	miR2Disease
	hsa-mir-92a	dbDEMC
	hsa-let-7i	<i>unconfirmed</i>
	hsa-mir-19a	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-let-7g	miR2Disease
	hsa-mir-21	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-mir-146a	<i>unconfirmed</i>
	hsa-mir-221	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-mir-15a	<i>unconfirmed</i>
	hsa-mir-125b	dbDEMC

Table 2. Prediction results of the top 20 predicted miRNAs related with lung neoplasm

Disease	miRNA	Database
Lung Neoplasms	hsa-mir-200a	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-200b	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-200c	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-141	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-mir-429	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-mir-199a	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-34b	dbDEMC,HMDD
	hsa-mir-183	dbDEMC,miR2Disease
	hsa-mir-375	HMDD
	hsa-mir-1	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-21	miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-100	HMDD
	hsa-mir-182	dbDEMC,miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-196a	HMDD
	hsa-mir-133a	HMDD
	hsa-mir-126	miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-31	miR2Disease,HMDD
	hsa-mir-34c	dbDEMC,HMDD
	hsa-mir-194	<i>unconfirmed</i>
	hsa-mir-143	miR2Disease,HMDD

Colon neoplasm, one of the greatest threats to human life, is the most common type of cancer in the world. About half of colon cancer patients die within 5 years after diagnosis (Drusco et al., 2014; Ogata-Kawata et al., 2014; Phipps et al., 2013; Torre et al., 2015). In this research, the first 20 miRNAs estimated by KBMF method are listed in Table 3. It can see that 17 of the 20 predicted colon cancer associations have been confirmed from the databases mentioned above. We can say that the predicted success rate for colon cancer is 85%.

Table 3. Prediction results of the top 20 predicted miRNAs related with colon neoplasm

4. Conclusions and Recommendations

Related research studies have shown that miRNAs play a major role in various biological processes (Bartel, 2009; Xing Chen et al., 2018; Lan et al., 2018; Tang et al., 2019). Therefore, it is important to determine miRNA-disease relationships by computational techniques before applying costly and time-consuming experimental techniques. In this study, we used the Kernelized Bayesian matrix factorization method to predict possible relationships between miRNAs and diseases. In our previous study (Toprak & Eryilmaz, 2020), high quality results were obtained by using similar approaches with a different method. We evaluated the predictive performance of our model with 5-fold cross validation technique and several case studies. The calculated AUC value of the 5-fold cross validation technique is 0.9450. Also, we conducted three case studies like breast, lung, and colon neoplasms to further verify the performance of KBMF and validated the results with dbDEMC, miR2Disease and HMDD databases. The results indicates that the KBMF method can be used as an efficient method to predict possible relationships between miRNAs and diseases.

References

Al-Hajj, M., Wicha, M. S., Benito-Hernandez, A., Morrison, S. J., & Clarke, M. F. (2003). Prospective identification of tumorigenic breast cancer cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(7), 3983-3988. doi:10.1073/pnas.0530291100

Alexiou, P., Vergoulis, T., Gleditzsch, M., Prekas, G., Dalamagas, T., Megraw, M., . . . Hatzigeorgiou, A. G. (2009). miRGen 2.0: a database of microRNA genomic information and regulation. *Nucleic Acids Research*, 38(suppl_1), D137-D141. doi:10.1093/nar/gkp888

Ammad-Ud-Din, M., Georgii, E., Gonen, M., Laitinen, T., Kallioniemi, O., Wennerberg, K., . . . Kaski, S. (2014). Integrative and personalized QSAR analysis in cancer by kernelized Bayesian matrix factorization. *Journal of chemical*

- information and modeling, 54(8), 2347-2359. doi:10.1021/ci500152b
- Bartel, D. P. (2009). MicroRNAs: target recognition and regulatory functions. *cell*, 136(2), 215-233. doi:10.1016/j.cell.2009.01.002
- Chen, X. (2015). KATZLDA: KATZ measure for the lncRNA-disease association prediction. *Scientific reports*, 5, 16840. doi:10.1038/srep16840
- Chen, X., & Huang, L. (2017). LRSSLMDA: Laplacian Regularized Sparse Subspace Learning for MiRNA-Disease Association prediction. *PLoS Computational Biology*, 13(12), e1005912. doi:10.1371/journal.pcbi.1005912
- Chen, X., Huang, L., Xie, D., & Zhao, Q. (2018). EGBMMDA: Extreme Gradient Boosting Machine for MiRNA-Disease Association prediction. *Cell Death & Disease*, 9(1), 3. doi:10.1038/s41419-017-0003-x
- Chen, X., Huang, Y.-A., Wang, X.-S., You, Z.-H., & Chan, K. C. (2016). FMLNCSIM: fuzzy measure-based lncRNA functional similarity calculation model. *Oncotarget*, 7(29), 45948. doi:10.18632/oncotarget.10008
- Chen, X., Wang, L. Y., & Huang, L. (2018). NDAMDA: Network distance analysis for MiRNA-disease association prediction. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 22(5), 2884-2895. doi:10.1111/jcmm.13583
- Chen, X., Wu, Q. F., & Yan, G. Y. (2017). RKNNMDA: Ranking-based KNN for MiRNA-Disease Association prediction. *RNA biology*, 14(7), 952-962. doi:10.1080/15476286.2017.1312226
- Chen, X., Xie, D., Wang, L., Zhao, Q., You, Z. H., & Liu, H. (2018). BNPMDA: Bipartite Network Projection for MiRNA-Disease Association prediction. *Bioinformatics*, 34(18), 3178-3186. doi:10.1093/bioinformatics/bty333
- Chen, X., Yan, C. C., Zhang, X., You, Z. H., Deng, L., Liu, Y., . . . Dai, Q. (2016). WBSMDA: Within and Between Score for MiRNA-Disease Association prediction. *Scientific reports*, 6, 21106. doi:10.1038/srep21106
- Chen, X., Zhou, Z., & Zhao, Y. (2018). ELLPMDA: ensemble learning and link prediction for miRNA-disease association prediction. *RNA biology*, 15(6), 807-818. doi:10.1080/15476286.2018.1460016
- Drusco, A., Nuovo, G. J., Zanesi, N., Di Leva, G., Pichiorri, F., Volinia, S., . . . Bottoni, A. (2014). MicroRNA profiles discriminate among colon cancer metastasis. *PLoS One*, 9(6), e96670. doi:10.1371/journal.pone.0096670
- Espinosa, C. E. S., & Slack, F. J. (2006). Cancer issue: the role of microRNAs in cancer. *The Yale journal of biology and medicine*, 79(3-4), 131-140.
- Gönen, M., Khan, S., & Kaski, S. (2013). Kernelized Bayesian matrix factorization. Paper presented at the International Conference on Machine Learning.
- Jiang, Q., Hao, Y., Wang, G., Juan, L., Zhang, T., Teng, M., . . . Wang, Y. (2010). Prioritization of disease microRNAs through a human phenome-microRNAome network. *BMC Systems Biology*, 4(1), S2. doi:10.1186/1752-0509-4-s1-s2
- Jiang, Q., Wang, Y., Hao, Y., Juan, L., Teng, M., Zhang, X., . . . Liu, Y. (2009). miR2Disease: a manually curated database for microRNA deregulation in human disease. *Nucleic Acids Res*, 37(Database issue), D98-104. doi:10.1093/nar/gkn714
- Kim, Y.-K. (2015). Extracellular microRNAs as biomarkers in human disease. *Chonnam medical journal*, 51(2), 51-57. doi:10.4068/cmj.2015.51.2.51
- Kozomara, A., & Griffiths-Jones, S. (2013). miRBase: annotating high confidence microRNAs using deep sequencing data. *Nucleic Acids Research*, 42(D1), D68-D73. doi:10.1093/nar/gkt1181
- Lan, W., Wang, J., Li, M., Liu, J., Wu, F. X., & Pan, Y. (2018). Predicting MicroRNA-Disease Associations Based on Improved MicroRNA and Disease Similarities. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 15(6), 1774-1782. doi:10.1109/TCBB.2016.2586190
- Li, J.-Q., Rong, Z.-H., Chen, X., Yan, G.-Y., & You, Z.-H. (2017). MCMDA: Matrix completion for MiRNA-disease association prediction. *Oncotarget*, 8(13), 21187. doi:10.18632/oncotarget.15061
- Li, Y., Qiu, C., Tu, J., Geng, B., Yang, J., Jiang, T., & Cui, Q. (2014). HMDD v2.0: a database for experimentally supported human microRNA and disease associations. *Nucleic Acids Research*, 42(Database issue), D1070-D1074. doi:10.1093/nar/gkt1023
- Mugunga, I., Ju, Y., Liu, X., & Huang, X. (2017). Computational prediction of human disease-related microRNAs by path-based random walk. *Oncotarget*, 8(35), 58526. doi:10.18632/oncotarget.17226
- Ogata-Kawata, H., Izumiya, M., Kurioka, D., Honma, Y., Yamada, Y., Furuta, K., . . . Sonoda, H. (2014). Circulating exosomal microRNAs as biomarkers of colon cancer. *PLoS One*, 9(4), e92921. doi:10.1371/journal.pone.0092921
- Phipps, A. I., Lindor, N. M., Jenkins, M. A., Baron, J. A., Win, A. K., Gallinger, S., . . . Newcomb, P. A. (2013). Colon and rectal cancer survival by tumor location and microsatellite instability: the Colon Cancer Family Registry. *Diseases of the colon and rectum*, 56(8), 937. doi:10.1097/DCR.0b013e31828f9a57
- Shao, B., Liu, B., & Yan, C. (2018). SACMDA: MiRNA-Disease Association Prediction with Short Acyclic Connections in Heterogeneous Graph. *Neuroinformatics*, 16(3-4), 373-382. doi:10.1007/s12021-018-9373-1
- Tang, C., Zhou, H., Zheng, X., Zhang, Y., & Sha, X. (2019). Dual Laplacian regularized matrix completion for microRNA-disease associations prediction. *RNA biology*, 16(5), 601-611. doi:10.1080/15476286.2019.1570811
- Toprak, A., & Eryilmaz, E. (2020). Prediction of miRNA-disease associations based on Weighted K-Nearest known neighbors and network consistency projection. *Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, 18(6), 2050041. doi:10.1142/s0219720020500419
- Torre, L. A., Bray, F., Siegel, R. L., Ferlay, J., Lortet-Tieulent, J., & Jemal, A. (2015). Global cancer statistics, 2012. *CA: a cancer journal for clinicians*, 65(2), 87-108. doi:10.3322/caac.21262
- van Laarhoven, T., Nabuurs, S. B., & Marchiori, E. (2011). Gaussian interaction profile kernels for predicting drug-target interaction. *Bioinformatics*, 27(21), 3036-3043. doi:10.1093/bioinformatics/btr500
- Wang, C. C., Chen, X., Yin, J., & Qu, J. (2019). An integrated framework for the identification of potential miRNA-disease association based on novel negative samples extraction strategy. *RNA biology*, 16(3), 257-269. doi:10.1080/15476286.2019.1568820
- Wang, D., Wang, J., Lu, M., Song, F., & Cui, Q. (2010). Inferring the human microRNA functional similarity and functional network based on microRNA-associated diseases. *Bioinformatics*, 26(13), 1644-1650. doi:10.1093/bioinformatics/btq241
- Xuan, P., Han, K., Guo, M., Guo, Y., Li, J., Ding, J., . . . Huang, Y. (2013). Prediction of microRNAs associated with human

- diseases based on weighted k most similar neighbors. *PLoS One*, 8(8), e70204. doi:10.1371/journal.pone.0070204
- Yang, J.-H., Shao, P., Zhou, H., Chen, Y.-Q., & Qu, L.-H. (2009). deepBase: a database for deeply annotating and mining deep sequencing data. *Nucleic Acids Research*, 38(suppl_1), D123-D130. doi:10.1093/nar/gkp943
- Yang, Z., Ren, F., Liu, C., He, S., Sun, G., Gao, Q., . . . Zhao, H. (2010). dbDEMC: a database of differentially expressed miRNAs in human cancers. *BMC Genomics*, 11 Suppl 4, S5. doi:10.1186/1471-2164-11-S4-S5
- Yu, H., Chen, X., & Lu, L. (2017). Large-scale prediction of microRNA-disease associations by combinatorial prioritization algorithm. *Scientific reports*, 7, 43792. doi:10.1038/srep43792



Challenges in the Production of Titanium–based Scaffolds Bio–functionalized with Hydroxyapatite by Powder Metallurgy Technique

Mehmet Topuz^{1*}, Burak Dikici², Mehmet Gavgalı^{3,4}

^{1*} Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3692-796X), mehmettopuz@yyu.edu.tr

² Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7249-923X), burakdikici@atauni.edu.tr

³ Atatürk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1581-2605), mgavgalı@atauni.edu.tr

⁴ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1581-2605), mgavgalı@erbakan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.980402)

ATIF/REFERENCE: Topuz, M., Dikici, B., Gavgalı, M. (2021). Challenges in the Production of Titanium–based Scaffolds Bio–functionalized with Hydroxyapatite by Powder Metallurgy Technique. *European Journal of Science and Technology*, (28), 46-51.

Abstract

Recently, titanium and its alloys have remarkable interest for researchers due to their advanced mechanical, surface and biological properties. Researchers are investigating new materials, especially in the field of health, and perhaps material design is the most important criteria that exhibit the low Young's modulus of bone. Along with these criteria's most preferred are composite materials reinforced with hydroxyapatite (HA). Porous materials are preferred because they exhibit Young's modulus close to the bone. The aim of the study, the problems encountered in the production of titanium/hydroxyapatite (Ti/HA) composite scaffolds and the solutions will be emphasized. These are briefly; porogen removal, usage of different sintering furnaces, sintering atmosphere, material thickness, crack formation-propagation as a result of excessive or insufficient pressing pressure, and agglomeration of porogens during mold filling. It has been proven that the use of vertical tube furnaces under the Ar gas atmosphere has successful results compared to the use of horizontal tube furnaces and different atmospheres (vacuum or Ar gas). It has been concluded that in the composite scaffolds that have been successfully produced, micropores are formed as well as macropores, which may result from insufficient neck growth and pressing pressure. In addition, results showed that bi-modal (macro/micro porosity) pore structures may contribute to bone tissue orientation in possible biomaterial use.

Keywords: Powder metallurgy (PM), titanium, hydroxyapatite, composite scaffolds, porous materials.

Hidroksiapatit ile Biyo-fonksiyonelleştirilmiş Titanyum-esashı Yapı İskelelerinin Toz Metalurjisi Tekniği ile Üretimindeki Zorluklar

Öz

Son zamanlarda titanyum ve alaşımları gelişmiş mekanik, yüzey ve biyolojik özellikleri nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Araştırmacılar, özellikle sağlık alanında yeni malzemeleri araştırmakta ve belki de malzeme tasarımı, düşük Young modülü sergilemesinden dolayı, en önemli kriterdir. Bu kriterler içerisinde en çok tercih edilen ise hidroksiapatit (HA) ile güçlendirilmiş kompozit malzemelerdir. Gözenekli malzemeler, Young modülünü kemiğe yakın sergiledikleri için tercih edilmektedirler. Çalışmanın amacı, titanyum/hidroksiapatit (Ti/HA) kompozit yapı iskelelerinin üretiminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri üzerinde durulacaktır. Bunlar kısaca; porojen giderimi, farklı sinterleme fırınlarının kullanılması, sinterleme atmosferi, malzeme kalınlığı, aşırı veya yetersiz presleme sonucu çatlak oluşumu-yayılmaları ve kalıp doldurma sırasında porojenlerin aglomerasyonu. Ar gazı atmosferi altında dikey tüp fırınların kullanılmamasının, yatay tüp fırınların ve farklı atmosferlerin (vakum veya Ar gazı) kullanımına kıyasla başarılı sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Başarıyla üretilen kompozit iskelelerde makro gözeneklerin yanı sıra yetersiz boyun büyümesi ve yetersiz pres basıncından kaynaklanabilecek mikro gözeneklerin de oluştuğu sonucuna varılmıştır. Ek olarak, sonuçlar bi-modal (makro/mikro gözeneklilik) gözenek yapılarının olası biyomateryal kullanımında kemik dokusu yönlendirmesine katkıda bulunabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi (TM), Titanyum, Hidroksiapatit, Kompozit doku iskelesi, Gözenekli malzeme.

* Corresponding Author: mehmettopuz@yyu.edu.tr

1. Introduction

Due to its high specific strength (strength/specific gravity), titanium (Ti) is frequently used in the medical implant industry, especially in hip prostheses. The enhanced corrosion resistance of Ti is due to the thin titanium oxide layer it forms on itself and thanks to this feature, its biocompatibility increases [1]. Also, Ti is a metal that is mechanically more rigid and more resistant than other metals such as aluminum, steel etc. The most important known disadvantage of Ti is that it is expensive compared to other elements. The structure of bone tissue in the body and the structure of Ti differ from each other in terms of properties such as strength, hardness, toughness and most importantly Young's modulus (E). Although considered to be sufficiently biocompatible, scientists are trying to increase this biocompatibility by using bone-like structures. These can be briefly explained as the modification of bone and/or similar structures by various methods (coating, composite structure, etc.) [2,3].

Human bone consists of mostly calcium (Ca) and phosphate (P) elements especially, tooth enamel, cortical bone and other spongy bones. Various bioceramics were used by researchers to mimic bone tissue such as calcium phosphates, bioglasses, zirconia (Y-TZP), inert Al_2O_3 , MnO_2 etc. [4]. Hydroxyapatite is in the calcium phosphate class and reflects similar properties with the basic minerals that make up the bone structure, especially chemically. Elementally, the chemical composition of HA is $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, the Ca:P ratio, which is the measure of the proximity of bioceramics to bone tissue, is 1.67 [5]. Besides, due to its porosity, HA is used in orthopedic or dental implant applications due to its ability to improve bone tissue orientation. HA, which can be obtained both naturally and artificially in the laboratory environment, is frequently used in orthopedic applications due to its chemical structure resembling natural hard tissues, high biocompatibility and bioactivity. It's known that Ti/HA composites also have high Young's modulus than cortical bone structure [6]. Researchers are working on reducing Young's modulus to prevent the stress-shielding effect. This phenomenon was firstly explained by Wolf (which also known as Wolf's law) and simply explain the load-carrying capacity difference between bone and implant materials [7]. One can be done by researchers was produce porous materials which have low Young's properties for better load distribution and enhanced bone transformability to the implant's inside (osseointegration). Various methods have been developed to increase the osseointegration behaviors by modifying the implant surfaces or the implant itself for the bone tissue to act as a whole with the implant. One of them is that the implant surface or the whole has a porosity and the tissue development progresses towards these pores. In these ways, many researchers have used numerous pore-agent for pore-forming with food-grade powders such as sodium chloride, sucrose, dextrin corn starch and tapioca starch [8]. Any reaction between the pore-forming particles and the base powders can impair the mechanical properties of the produced material. Besides, when biocompatibility is taken into account in biomaterials, reaction formation between pore-forming particles and powders should be avoided. Since rapid removal of pore-forming particles from the material prevents contamination of the material, the ability to remove or dissolve should be considered in the selection of the pore-forming particle [9]. Another critical factor is the strength properties of the pore-forming particle to be selected, an important feature to prevent the core powders from breaking

during pressing. Also, porogen has to be more commercial as well as inexpensive such as NaCl which reported by Topuz *et al.* [10]. In this study, the difficulties encountered and their possible causes will be discussed to guide researchers who will work on Ti/HA porous scaffolds. Moreover, the problems encountered in the production of scaffolds and the possible sources and possible solutions to these problems will be emphasized. The sub-aims of the study can be summarized as follows; producibility of Ti/HA composite scaffold materials, the importance of sintering conditions, and pore homogeneity.

2. Material and Method

Commercial pure Ti with an average size –325 mesh (~45 μm) with irregular shape was procured from Merck (Darmstadt, Germany) and hydroxyapatite with an average size of 3–5 μm was used to compaction. NaCl powders have cracked non-cracked and partly spherical forms. Also, it has a size range between 150–600 μm which is suitable porosity dimensions for biomedical application. Ethanol was used as a binder to Ti and HA powders, and enhance the homogeneity of powder mixing. Then, NaCl powders were added and mixed for 4 h to obtain homogenous porosity. Cylindrical hot work tool steel with 20 mm in diameter and 10 mm height was pressed at 700 MPa for 5 min with the help of a 100 tons' capacity hydraulic press machine. To remove the NaCl powders in the composite materials from the structure and obtain scaffolds, different water-leaching techniques (stirring, vacuum impregnation etc.) have been tried. At the end of salt-leaching trials stirring for 4 h at 70 °C in hot distilled water.

The most important stage of Ti/HA scaffold producibility is sintering. For the sintering stage of scaffolds, different sintering approaches were carried out. Firstly, sintering was tried in a horizontal furnace that can work both vacuum and inert atmosphere. The vacuum was the first tried conditions. As we know that, at high temperature, the melting temperature of NaCl was getting lower and consequently not need any salt-leaching procedure. So the first trial was carried out at 1200 °C for 2 h at ~60 mtorr vacuum. The second trial was at the same furnace vacuum-inert gases (Argon: Ar) procedure. This is carried out with vacuum-filling inert gases-vacuum and sintering at 1200 °C for 2 h. The third trial in a horizontal furnace was a continuous flow of inert gases at 1200 °C for 2 h. The last and final trials were done in a vertical furnace with able to vacuum an inert atmosphere. These trials carried out at 1000 °C for 1 h in a continuous flow of Ar atmosphere. Ar was used for the whole sintering atmosphere due to the high reactivity of Ti to other small atomic sized elements such as; O, N, H etc. and resulted in possible TiO_2 , TiN and TiH_2 formation. After the sintering stage, scaffolds were examined for further tests or analyses. Microstructural characteristics (especially neck formation and growth) of the sintered scaffolds were investigated by optical microscopy (OM). From OM images, both cell size, wall thickness and interconnectivity of pores were examined. Further microstructure investigation on sintered scaffolds was carried out with scanning electron microscopy (SEM) which attached with an energy dispersive spectroscopy (EDS) device. Observed problems related to pre-sintering conditions and post-sintering were discussed in the next section.

3. Results and Discussion

Before the sintering stage, NaCl particles must be removed to prevent any reaction between Ti/HA and NaCl in the scaffold. In

this way, a couple of salt dissolving processes were carried out, respectively; i) soaking in pure water for 4 h, ii) vacuum empegrenation process in pure water for 30 min, and finally, iii) dissolving in a magnetic stirrer in pure water at 70 °C for 4 h. The scaffolds presented in Figure 1 and kept in distilled water caused scaffold transverse cracks due to internal stresses following the dissolution of NaCl particles over time.

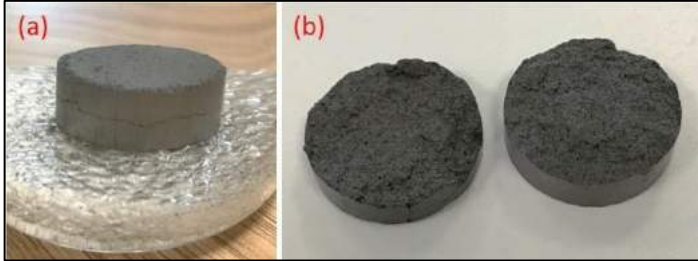


Figure 1. Soaked scaffolds in distilled water for 4 h; (a) during soaking and (b) after soaking scaffolds

In the vacuum impregnation process, which is the other salt dissolving process, wear was observed from the scaffold corners over time and this method was eliminated because the scaffolds could not keep their shape [11]. The reason for this can be shown as the insufficient pressure distribution in the sharp corners of scaffolds and exposure to excessive vibration during vacuum. The last method and the resulting method is salt dissolving in a magnetic stirrer. The purpose here is to ensure continuous circulation in pure water rather than stagnation in the scaffold during the dissolution of NaCl particles in water. All the mentioned NaCl dissolving processes were carried out in all sintering trials.

The representative image of the first trial setup used in the sintering part is presented in Figure 2. Figure 2a shows the furnace which used in experiments while Figure 2b represent semi-sintered scaffolds.

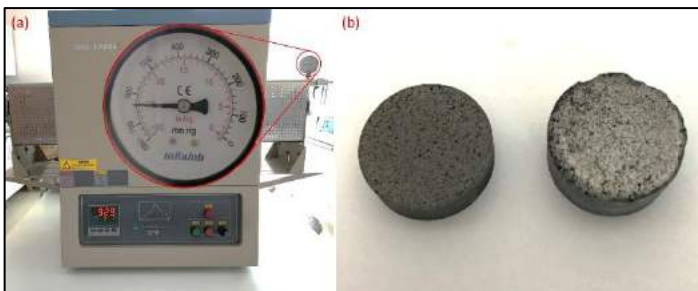


Figure 2. First sintering trial setup; (a) horizontal furnace with vacuum gauge and (b) semi-sintered scaffolds

While most of the literature studies are generally carried out in vertical furnaces under Ar gas, it is thought that the possible low vacuum melting point of NaCl particles will decrease and the salt can be removed by heat rather than dissolving in water [12]. As a result of evacuating the atmosphere in the furnace, the lower part of the scaffolds, which has alumina ceramics on the lower part of it, is sintered in micron thickness, since the scaffolds are sintered by heat conduction, while the upper part is not sintered (Fig. 2b). As another phenomenon, the possibility of air entering as a result of excess components used in the furnace design or the insufficient power of the vacuum pump. The semi-sintering phenomenon was revealed when scaffolds were cut along the section after sintering [13].

Following the unsuccessful results of the first method, Ar gas was tried to be used in the same furnace setup represented in Figure 3. In this test method, the ppm level of oxygen in the furnace (which may react with Ti) was purified first by vacuum, then with Ar gas and finally under vacuum again.

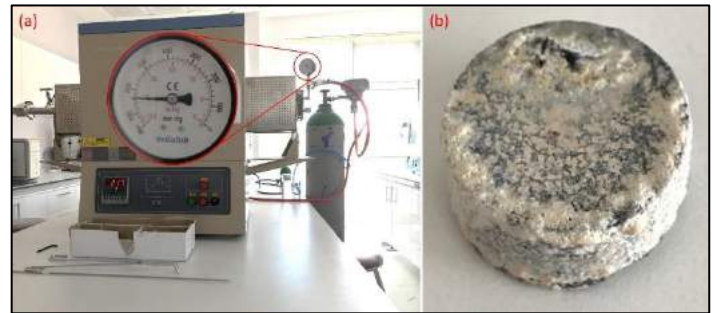


Figure 3. Second sintering trial setup; (a) horizontal furnace with Ar gases modification and (b) oxidized scaffold

As can be seen from Figure 3b, it is seen that TiO₂ and other unknown phases are obtained as a result of a reaction with oxygen on the surface and inner parts of scaffolds obtained as a result of the sintering process. It has been observed that the oxidized scaffolds obtained are the result of the fact that the furnace is horizontal due to its structure and Ar gas is heavier than air, and that oxygen is present in the upper part of the horizontal tube furnace, where it sweeps only the lower part. It is thought that there may be air leakage after vacuuming.

The last sintering stage performed by sweeping under Ar gas with a horizontal tube furnace is presented in Figure 4. Continuous sweeping operation under Ar gas was applied in this experiment to sintering scaffolds in the second trial.

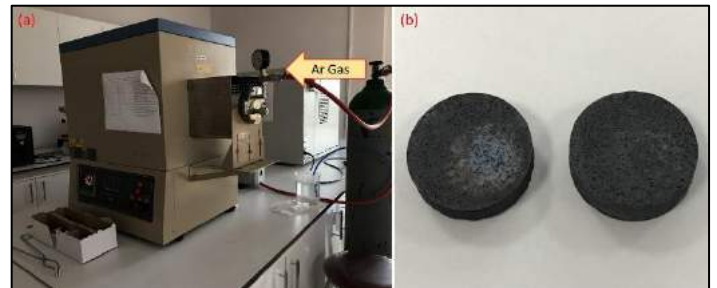


Figure 4. Third sintering trial setup; (a) horizontal furnace with Ar gases sweeping and (b) non-sintered scaffolds

The idea here can be summarized as follows: Ar gas to sweep the continuous medium by introducing into a horizontal tube furnace are intended to be permanent under Ar gas. However, another fact that was overlooked that the scaffolds were not sintered again as a result of the permanent heat environment could not be provided with an environment of continuous Ar gas (Fig. 4b). This can be shown as the absence of time to heat the scaffold during Ar gas sweeping. Because the Ar gas was cold, may not be sufficiently heated until it leaves the furnace.

Another experiment was carried out with a thinner scaffold to obtain positive results in this trial. As can be seen in Figure 5, in thin prepared scaffolds which to keep the sample completely in the Ar gas, an oxidized layer and an inward oxide structure are seen on the surface. Moreover, as the scaffolds get thinner too much, cracks are seen on the surface, which may occur from the sintering speed, atmosphere and cooling rate.



Figure 5. Scaffold which obtained with a second sintering trial with a cross-sectional image

Composite scaffolds were successfully sintered in the vertical tube furnace setup (Fig. 6), where Ar gas was used to sweep the atmosphere and was frequently used in studies [14,15].



Figure 6. Final sintering trial setup; vertical furnace with Ar gases sweeping from bottom to top and successfully sintered scaffolds

As it is known, since Ar gas is heavier than air, the inner part of the furnace is filled with Ar gas from the lower part and discharged to the top, and any problem encountered in heat transfer in the sintering process. The water used in the setup was used to reduce the excess temperature occurring at 1000 °C in the sintering stage of the scaffolds for preventing deterioration of the silicone plug which mounted on top of the furnace for insulation from oxygen.

Figure 7 shows the progress of the cracks that started in the inner parts of the scaffolds caused by excessive water dissolution during the salt dissolution process to the surface after the sintering process [16].

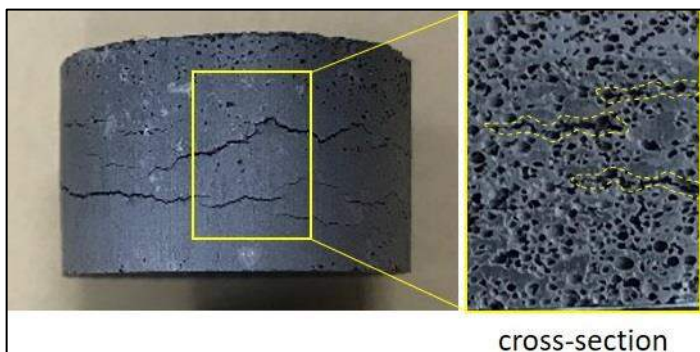


Figure 7. Horizontal cracking after sintering and cross-section

It can be concluded that distilled water can penetrate the interior of the scaffold during the NaCl leaching due to the pores interconnectivity. Moreover, the regions indicated by dashed yellow lines in the cross-sectional view prove the accuracy of this phenomenon (Fig. 7).

Figure 8 showed that excessive porogen agglomeration during the powder compaction stage. The reason for this is that during the filling of the powders into the mould, NaCl particles were collected in a certain part may a result of vibration applied to the mould several times during powder stacking into the mould.

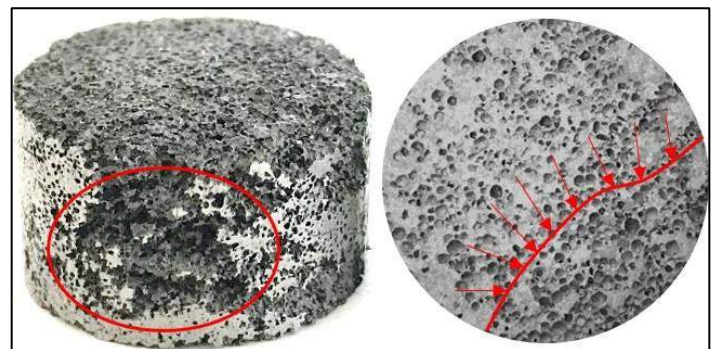


Figure 8. Excessive porogen agglomeration during powder stacking to mould

Moreover, as can be seen from the figure, a porogen orientation was seen towards the part marked with an arrow in the

red area. This problem can have reduced by using a binder during the pellet preparation phase from powders to prevent the agglomeration between the NaCl particles [17].

Optical microscope (OM) images of Ti/HA composite scaffolds sintered successfully are presented in Figure 9 by different magnification, $\times 50$, $\times 100$ and $\times 200$ respectively.

As can be seen from the OM results, unlike the pure and/or alloy scaffolds mentioned in the literature, micropores, as well as macropores, were found in composite scaffolds. It is thought that this may be due to the difference in the thermal expansion coefficient of Ti and HA powders. Moreover, the combination of Ti with each other to form a neck instead of covering the HA during sintering results in such results. On the other hand, micropores can form due to insufficient cold bond formation between Ti and HA as a result of the low pressing pressure during pressing. Besides the desired macropores, the obtained micropores are very important especially for materials that are considered to work in corrosive media. Because it is known that such unusual porosities can be affected more rapidly in corrosive

media [15]. The reason for this is that since the contact surface of the scaffold with the corrosive media will increase, the corrosion mechanism will proceed faster. On the other hand, it has been stated by many researchers that such spontaneously formed micropores can contribute to bone tissue orientation in the use of biomaterials [18].

SEM micrographs of sintered scaffold's cell walls were given in Figure 10 with EDS analyses. EDS analyses confirmed that regions #1 were Ti particles and regions #2 were HA particles (Fig. 10). According to this, HA particles in the cell walls of the pores are located homogeneously. Such a homogenous dispersion indicates successful mixing of the powders before pressing, while at the same time evidence that enhanced biocompatible zones. On the other hand, such dense HA ceramics surrounding Ti will reduce the sinterability of Ti [11]. Therefore, the reinforcement fraction is very important because of its sinterability of Ti and the possibility of decomposition of HA particles at high temperatures during the sintering stage.



Figure 9. Optical microscopy of Ti/HA 50% porous scaffolds, $\times 50$, $\times 100$ and $\times 200$ respectively

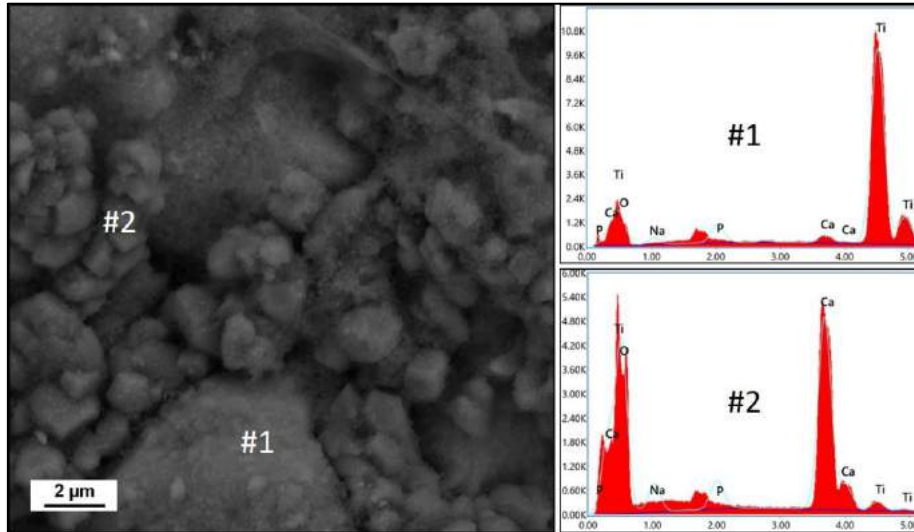


Figure 10. SEM micrograph of sintered scaffolds with different areas EDS result

4. Conclusions and Recommendations

The problems encountered in the production of Ti/HA composite scaffold and their possible causes and partial solutions were mentioned. In general, these problems can be listed as follows; i) difficulties encountered during NaCl dissolving studies applied to prevent possible phases between Ti/HA and NaCl, ii) restrictions in the use of horizontal tubes, iii) failures in the use of vacuum and Ar gas, iv) insufficient pressing pressure and v) nonhomogeneous distribution of porogens. The findings as a result of the studies have shown that successful sintering can be achieved in the vertical tube under Ar gas instead of the horizontal

tube that does not have a high vacuum capacity besides basic sealing. Moreover, it has been concluded that processes such as the preparation of powder and porogen mixture, pressing and desalting are very important during or after sintering. The most important outcome of the study is considered to be a guide to other researchers who will work on the composite scaffolds.

5. Acknowledge

The authors would like to thank the Atatürk University, Scientific Research Projects Coordination Unit (Project No: FDK-2019-7281) who provided financial support for this work.

References

- [1]. H.L. Yao, C. Yang, Q. Yang, X.Z. Hu, M.X. Zhang, X.B. Bai, H.T. Wang and Q.Y. Chen, "Structure, mechanical and bioactive properties of nanostructured hydroxyapatite/titania composites prepared by microwave sintering," *Mater. Chem. Phys.* vol. 241, pp. 122340, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122340>.
- [2]. B. Dikici, M. Niinomi, M. Topuz, Y. Say, B. Aksakal, H. Yilmazer and M. Nakai, "Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite/TiO₂ Coatings on the β -Type Titanium Alloys with Different Sintering Parameters using Sol-Gel Method," *Prot. Met. Phys. Chem. Surfaces.* vol. 54, pp. 457–462, 2018. <https://doi.org/10.1134/S2070205118030255>.
- [3]. K. Niespodziana, "Synthesis and Properties of Porous Ti-20 wt.% HA Nanocomposites," *J. Mater. Eng. Perform.* vol. 28, pp. 2245–2255, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11665-019-03966-8>.
- [4]. D. Ragurajan, M. Golieskardi, M. Satgunam, E. Hoque, A.M.H. Ng, M. Jameelah and A. Kamal, "Advanced 3Y-TZP bioceramic doped with Al₂O₃ and MnO₂ particles potentially for biomedical applications: study on mechanical and degradation," *Integr. Med. Res.* pp. 1–11, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.05.015>.
- [5]. B. Dikici, M. Niinomi, M. Topuz, S.G. Koc and M. Nakai, "Synthesis of biphasic calcium phosphate (BCP) coatings on β -type titanium alloys reinforced with rutile-TiO₂ compounds: adhesion resistance and in-vitro corrosion," *J. Sol-Gel Sci. Technol.* vol. 87, pp. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10971-018-4755-2>.
- [6]. C. Chu, X. Xue, J. Zhu and Z. Yin, "Mechanical and biological properties of hydroxyapatite reinforced with 40 vol. % titanium particles for use as hard tissue replacement," *J. Mater. Sci. Mater. Med.* vol. 15, pp. 665–670, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:JMSM.0000030207.16887.f2>.
- [7]. A. Arifin, A.B. Sulong, N. Muhamad, J. Syarif and M.I. Ramli, "Material processing of hydroxyapatite and titanium alloy (HA/Ti) composite as implant materials using powder metallurgy: A review," *Mater. Des.* vol. 55, pp. 165–175, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.09.045>.
- [8]. B. Lee, T. Lee, Y. Lee, D.J. Lee, J. Jeong, J. Yuh, S.H. Oh, H.S. Kim and C.S. Lee, "Space-holder effect on designing pore structure and determining mechanical properties in porous titanium," *Mater. Des.* vol. 57, pp. 712–718, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.078>.
- [9]. B. Zhao, A.K. Gain, W. Ding, L. Zhang, X. Li and Y. Fu, "A review on metallic porous materials: pore formation, mechanical properties, and their applications," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* vol. 95, pp. 2641–2659, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1415-6>.
- [10]. M. Topuz, B. Dikici and M. Gavgali, "Titanium-based composite scaffolds reinforced with hydroxyapatite-zirconia: Production, mechanical and in-vitro characterization," *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* vol. 118, pp. 104480, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104480>.
- [11]. X. Fan, "Preparation and performance of hydroxyapatite/Ti porous biocomposite scaffolds," *Ceram. Int.* vol. 45, pp. 16466–16469, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.178>.
- [12]. Y. Torres, J.J. Pavón and J.A. Rodríguez, "Processing and characterization of porous titanium for implants by using NaCl as space holder," *J. Mater. Process. Technol.* vol. 212, pp. 1061–1069, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.12.015>.
- [13]. N.K. Tolochko, S.E. Mozzharov, I.A. Yadroitsev, T. Laoui, L. Froyen, V.I. Titov and M.B. Ignatiev, "Balling processes during selective laser treatment of powders," *Rapid Prototyp. J.* vol. 10, pp. 78–87, 2004. <https://doi.org/10.1108/13552540410526953>.
- [14]. P. Balbinotti, E. Gemelli, G. Buerger, S.A. de Lima, J. de Jesus, N.H.A. Camargo, V.A.R. Henriques and G.D. de A. Soares, "Microstructure development on sintered Ti/HA biocomposites produced by powder metallurgy," *Mater. Res.* vol. 14, pp. 384–393, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392011005000044>.
- [15]. L. Zhang, Z.Y. He, Y.Q. Zhang, Y.H. Jiang and R. Zhou, "Rapidly sintering of interconnected porous Ti-HA biocomposite with high strength and enhanced bioactivity," *Mater. Sci. Eng. C.* vol. 67, pp. 104–114, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2016.05.001>.
- [16]. C. Popa, V. Simon, I. Vida-Simiti, G. Batin, V. Candea and S. Simon, "Titanium - Hydroxyapatite porous structures for endosseous applications," *J. Mater. Sci. Mater. Med.* vol. 16, pp. 1165–1171, 2005. <https://doi.org/10.1007/s10856-005-4724-5>.
- [17]. M.R. Raza, A.B. Sulong, N. Muhamad, M.N. Akhtar and J. Rajabi, "Effects of binder system and processing parameters on formability of porous Ti/HA composite through powder injection molding," *Mater. Des.* vol. 87, pp. 386–392, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.08.031>.
- [18]. R.F. Prado, G.C. Esteves, E.L. De, S. Santos, D.A.G. Bueno, C.A.A. Cairo, L. Gustavo, O.D. Vasconcellos, R.S. Sagnori, F. Bastos, P. Tessarin, F.E. Oliveira, L.D.D. Oliveira, M. Fernanda, L. Villaça-Carvalho, V.A.R. Henriques, Y.R. Carvalho and L.M.R.D. Vasconcellos, "In vitro and in vivo biological performance of porous Ti alloys prepared by powder metallurgy," *PLoS One.* vol. 13, pp. 1–22, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196169>.



Biological control with essential oil of *Foeniculum vulgare* Mill

Djamila Hamada^{1*}, Roumeissa Bekri², Aicha Medjahid², Romaissa Kamaci³, Hakim Belkhalifa⁴, Nasrine Salhi³, Segni Ladjel¹

¹Ouargla University, Faculty of Applied Sciences, Laboratory of Process Engineering, Ouargla, Algeria, (ORCID: 0000-0002-9681-7810), saouddjamila8@gmail.com, (ORCID: 0000-0002-6016-9428)

²Ouargla University, Mathematic and Matter sciences, Department of chemistry, Ouargla, Algeria. (ORCID: 0000-0003-4141-1335) roumeissabekri98@gmail.com, (ORCID: 0000-0002-8667-3438) amoudjahed@yahoo.com

³Ouargla University, Faculty of Nature Sciences and life, Laboratory of Saharan Bioresources Preservation and Recovery. Ouargla, Algeria. (ORCID: 0000-0003-0082-9874)

⁴ Center for Scientific and Technical Research in Physicochemical Analysis (C.R.A.P.C), Ouargla, Algeria. (ORCID: 0000-0001-9992-346X)

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.981759)

ATIF/REFERENCE: Hamada, D., Bekri, R., Medjahid, A., Kamaci, R., Belkhalifa, H., Salhi, N., & Ladjel, S. (2021). Biological control with essential oil of *Foeniculum vulgare* Mill. *European Journal of Science and Technology*, (28), 52-55.

Abstract

The present study was aimed to investigate, the chemical composition of the essential oil extracted by hydrodistillation from Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) harvested in South-Est, Algeria, and to evaluate its antifungal and allelopathic activities.

Gas chromatography-mass spectrometry GC-MS analysis of *F. vulgare* essential oil showed the presence of 11 components, alpha-phellandrene (29.44%) was found as the main component. The essential oil was tested on the seeds of 2 crops (*Chenopodium quinoa* Willd.) Variety Q102 and (*Triticum durum* Desf.) variety vitron, The final germination percentages and the seedling shoot and root lengths were significantly reduced by the *F. vulgare* essential oil as compared to the control. Furthermore, the antifungal study on the fungi of *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus* reported significant results. The effectiveness of the oil showed that it has a fungicidal effect against the two strains. These findings suggest that the *F. vulgare* essential oil can be used as a source of environmental-friendly in biological control.

Keywords: Allelopathie, Antifungal activity, *Foeniculum vulgare* Mill., Essential oil.

Foeniculum Vulgare Mill'in Uçucu Yağı İle Biyolojik Kontrol

Öz

Bu çalışmanın amacı, Cezayir'in Güney-Doğu bölgesinde hasat edilen Rezene'den (*Foeniculum vulgare* Mill.) hidrodistilasyon yoluyla elde edilen uçucu yağın kimyasal bileşimini araştırmak ve antifungal ve allelopatik aktivitelerini değerlendirmektir.

Gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi *F. vulgare* uçucu yağının GC-MS analizi, 11 bileşenin varlığını göstermiş ve alfa-phellandrene (%29.44) ana bileşen olarak bulunmuştur. Uçucu yağ, 2 mahsulün (*Chenopodium quinoa* Willd.) Çeşit Q102 ve (*Triticum durum* Desf.) çeşidinin vitron tohumları üzerinde test edilmiştir. Kontrol amaçlı karşılaştırıldığında *F. vulgare* esansiyel yağı ile nihai çimlenme yüzdeleri ve fide sürgün ve kök uzunlukları önemli ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca, *Aspergillus niger* ve *Aspergillus flavus* mantarları üzerinde yapılan antifungal çalışma önemli sonuçlar bildirmiştir. Yağın etkinliği, iki şüsa karşı mantar öldürücü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, *F. vulgare* esansiyel yağının biyolojik mücadelede çevre dostu bir kaynak olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Allelopathie, Antifungal aktivite, *Foeniculum vulgare* Mill., Uçucu yağ.

* Corresponding Author: saouddjamila8@gmail.com

1. Introduction

The use of herbicides has a harmful effect on the environment and public health. Accordingly it is important to alternatives for controlling weeds. An alternative suggested by the author, to control weeds, is the development and application of control measures with plant products (Alves et al., 2014). Many plants synthesize toxic substances for defense against other plants and microorganisms including viruses, bacteria, and fungi. (Liman et al., 2012, Kucukboyac et al. 2011) Allelopathy is a biological phenomenon by which an organism produces one or more biochemicals that influence the growth, survival, and reproduction of other organisms (El Ayeb et al., 2014).

The lamiaceae family is one of the most widely used families as a global source of spices and extracts with strong antimicrobial and antioxidant properties. (Goudjil et al., 2020) Fennel is a member of the family Apiaceae. It is classified into two sub species: subsp. Capillaceum which includes three varieties (azoricum Miller, dulce Miller (sweet fennel) and vulgare), Subsp. Piperitum (pepper fennel)., (Muckensturm et al., 1997; Marotti et al., 1994; Piccaglia and Marotti, 2001).

The plant and its essential oil have been extensively used as carminative, digestive, galactagogue and diuretic and to treat respiratory and gastrointestinal disorders (Farukh et al., 2017). It is also used as a constituent in cosmetic and pharmaceutical products, the plant and its essential oil have been extensively used as carminative, digestive, galactagogue and diuretic and to treat respiratory and gastrointestinal disorders (Mimica-Dukic et al., 2003). It is also used as a constituent in cosmetic and pharmaceutical.

2. Material and Method

2.1. Plant material

The aerial parts of Wild fennel *F. vulgare* harvested in February 2021 in the region of Elmarouthia (South-East Algeria) then dried in the shade at an ambient temperature during 10 days then hydrodistilled using a Clevenger-type apparatus for 3 h to give an essential oil yield of 0.89%.

2.1. Gas chromatography-mass spectrometry analysis

The analysis of *F. vulgare* EO was performed at the scientific and technical research center in physico-chemical analyzes (CRAPC).. The apparatus used is a gas chromatograph of the (TQ 8040 NX) type coupled with a mass spectrometer. quadrupole ionization voltage of 70 ev. The column that is used is an HP-5MS; 5% Phenyl Methyl Siloxane with a length of 30 m and an internal diameter of 0.25 mm. The wire thickness being 0.25 mm. The operating conditions are:

- The temperature of the injector (split mode 1:20): 250 °C
- Temperature programming: from 70 °C to 280 °C at a rate of 4 °C/min.

- The vector gas used is helium with a flow rate of 0.79 ml/min. The temperatures of the quadrupole source are fixed, respectively, at 250 °C and 280 °C. Linear retention indices (RI) for all compounds were determined using n-alkanes as standards. Identification of individual compounds was performed by matching their mass spectral fragmentation patterns with corresponding data available (Wiley 275 library (6th edition)).

2.2. Allelopathic activity

Each concentration was prepared with diluted *F. vulgare* EO in DMSO then added sterile distilled water to give final concentrations of : 0.5 ; 1 ; 2 : 3 %. All germination tests are performed in sterile glass Petri dishes with a diameter of 90 mm and a height of 18 mm. Standard filter discs equal to the diameter of the plates are placed in Petri dishes. After we put 25 quinoa seeds in a Petri dish and 10 wheat seeds in another one. Then pour a few milliliters (enough to cover only the seeds) of each concentration in each Petri dish and for each concentration, we kept three replicates. Germination is indicated by taking out the roots from the seed layer at least 2 mm long. The germination rate corresponds to the maximum percentage of germinated seeds compared to the total seeds sown, it estimated by the following formula (Alves et al., 2014):

$$GP\% = (NI / NT) \times 100$$

Where **GP**: germination percentage (%).

NI: The number of seeds germinated.

NT: The total number of seeds sown.

The inhibitory or stimulatory percent was calculated using the following equation given by Chung et al., 2001:

$$\text{inhibition (-) / stimulation (+) \%} = [(\text{extract} - \text{control}) / \text{control}] \times 100,$$

where 'extract' is the parameter measured in the presence of the *F. vulgare* EO and 'control' is the parameter measured in the presence of distilled water.

2.3. Anti-fungal activity

The antifungal activity was to examine the chemical composition of the essential oil extracted from the *F. Vulgare* against two species: *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus* prepared in the biology laboratory of the University of Ouargla.

The method used according to goudjil et al., with slight modifications. Is the direct contact method where the 04 concentrations in which concentration is obtained by adding of essential oil to 30 ml lukewarm Potatoes Dextrose Agar PDA in a bottle plus 0.5% DMSO. After shaking the flasks, the medium is poured into plastic dishes 90 mm in diameter. The inoculation is done under the Biological safety cabinets by depositing in the center of the dish a disc of the mycelial about 6mm in diameter. Petrie dish containing 15ml of PDA medium plus DMSO and the other only PDA, both without oil essential are inoculated to serve as a control. The Petri dishes (controls and tests) are incubated at 25 ± 2 ° C respectively for 7 days. All tests, are restarted three times (Goudjil et al., 2020).

Table 1. Chemical composition of Algerian *F. Vulgare* EO

Copounds	Retention time (min)	Area (%)
β-Pinene	4.17	0.6
alpha.-phellandrene	4.39	29.44
o-Cymene	4.53	10.11
D-Limonene	4.58	19.48
Sabinene	4.61	/
α-Terpinolene	5.11	0.22
Dill ether	6.10	21.52
(E)-Pinocarveol	6.27	0.34
trans-Sabinol	6.65	0.14
(-)-Carvone	6.74	9.76
Durenol	7.36	2.18

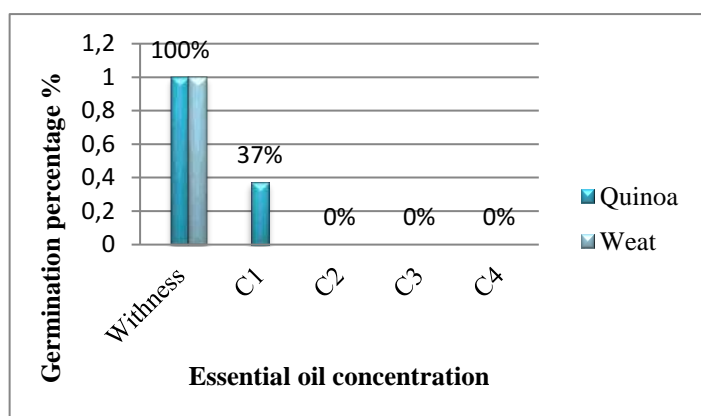


Figure 1. Germination percentage of Wheat and quinoa seeds treated with *F.vulgare* oil

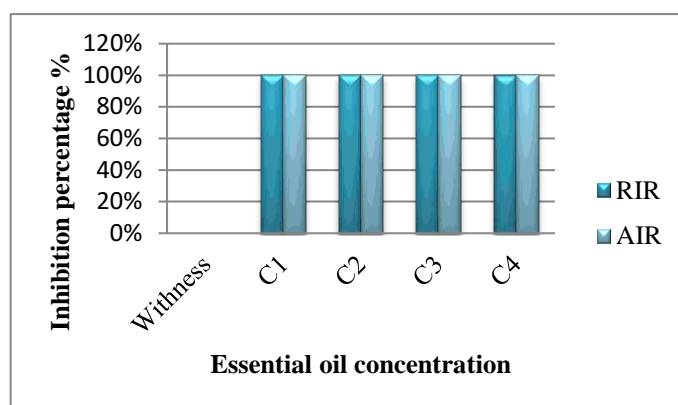


Figure 2. Inhibition of RIR and AIR recorded for Wheat seeds treated with *F.vulgare* oil.

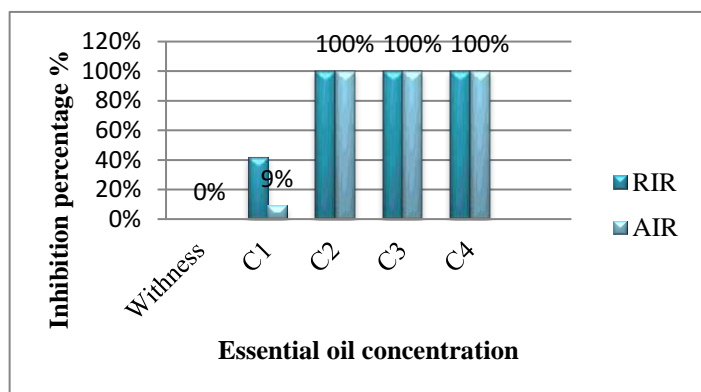


Figure 3. Inhibition of RIR and AIR recorded for Quinoa seeds treated with *F. vulgare* oil

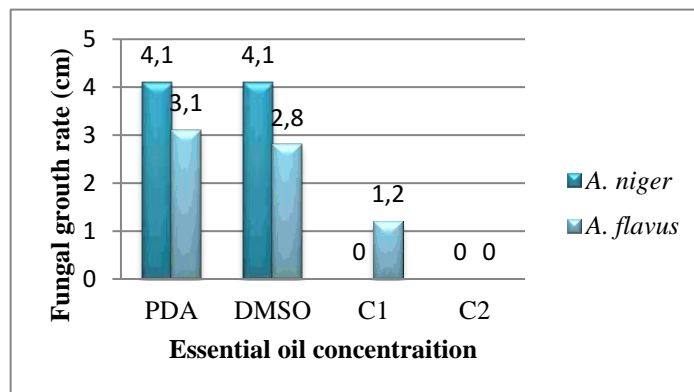


Figure 4. Mycelial diameter growth under the effect of *F. vulgare* oil

3. Results and Discussion

3.1. Chemical composition of essential oil

Analysis of the spectral data of the compounds detected 11 compounds with those of the standards cited in the databases, Nist and Willy (Table 1), whose alpha.-phellandrene (29.44), Dill ether (21.52) and D-Limonene (19.47), (-)-carvone (9.76) respectively are regarded major components.

Rahmani (1986) has reported that wild fennel seeds essential oil from the Azrou region (Middle Atlas, Morocco) were rich in hydrocarbon monoterpenes with a predominance of a-phellandrene (39%), limonene (21.4%) and a-pinene (17.6%). While, Shahat et al. (2012), has reported that the wild plants showed much higher level of limonene (84.49%). These variations may be related to the combined effect of many agents

comprising genetic factors and geographic origin as reported by several studies (Bahmani et al., 2015; Gholami Zali et al., 2018 ; Mustapha et al., 2020).

3.1. Allelopathic activity

The effect of essential oil concentrations on the final seed germination rate of the species tested which are shown in (figure1). We note that the percentage of inhibition of the aerial part is higher than the percentage of root inhibition for quinoa seeds at (C1) and it increases with increasing of concentration of the essential oil. The inhibitory effect is total for wheat seeds with different concentrations (figure 2, figure 3). These tests proved that our essential oil has an inhibitory effect on the 2 seeds germination tested; with relatively high inhibition rates.

In Previous studies basic research on the allelopathic potential of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed at several

concentrations showed that this medicinal plant exhibited a significant inhibitory effect on the seed germination and seedling lengths of all examined weeds (Maryam et al., 2011). (Gilani et al. 2010) also reported that *F. vulgare* is one of the top 10 medicinal plants with the highest inhibitory effect against the germination of lettuce (*Lactuca sativa L.*) seeds .

3.2. Anti-fungal activity

The activity of different concentrations of essential oil of fennel on different fungal strains tested is revealed by the absence or presence of mycelial growth (figure 4).

According to (figure 4), it is observed that the inhibition rate has a fungicidal effect for the two fungal strains. It is increased with the increase of EO concentration.

Previous studies also found that fennel essential oils possessed an inhibitory effect against a wide range of fungi (Anwar et al., 2009, Singh et al., 2003) , which supported our results in the present study, indicating that essential oil of fennel was a potent fungal inhibitor.

4. Conclusions and Recommendations

This study has been devoted to determine the essential oil composition and to evaluate allelopathic and anti fungal activities.

analysis of the *F.vulgare* essential oil made it possible to identify 11 constituents, *F. vulgare* EO is dominated by alpha-phellandrene , Dill ether, D-Limonene and (-)-carvone.

F.vulgare essential oil exhibited a significant inhibitory effect on the seed germination of two examined weeds and on mycelial growth of the fungal strains.

This indicates that EO of *F. vulgare* could be regarded as a promising preservative in food industry in terms of having antifungal activity for food deterioration control, and may be promising alternative to synthetic herbicide.

It is recommended that other strains should be also used in order to test out their significance. However, in vivo studies must be performed to confirm this efficacy in vitro.

5. Acknowledge

The authors thank all the staff working in the technical floor for physical and chemical analyzes (CRAPC), Ouargla for providing the necessary research facilities.

References

Anwar F., Ali M., Hussain AI, Shahid M., Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Pakistan. *Flavour and Fragrance Journal* 24, 170-176, 2009.

Alves, M.C.S.; Medeiros Filho, S.; Manoel Neto, A.; Brito, R.C.; Araujo, R.C. Allelopathic effect of essential oils of medicinal plants in *Bidens pilosa L.*, *Rev. Bras. Pl. Med.*, Campinas, v.16, n.3, supl. I, p.731-736, 2014.

Asma El Ayeb, Hichem Ben Jannet , Fethia Harzallah-Skhiri, Effects of *Acacia cyanophylla* Lindl. extracts on seed germination and seedling growth of four crop and weed plants. *Turk J Biol.* 37: 305-314,2014.

Bahmani, K., Darbandi, A.I., Ramshini, et al., Agromorphological and phytochemical diversity of various Iranian fennel landraces. *Ind. Crops Prod.* 77, 282–294, 2015.

Chung IM, Ahn JK, Yun SJ. Assessment of allelopathic potential of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) on rice (*Oryza sativa L.*) cultivars. *Crop Prot* 20: 921–928, 2001.

Farukh Sharopov, Abdujabbor Valiev, Prabodh Satyal et al., Cytotoxicity of the Essential Oil of Fennel (*Foeniculum*

vulgare) from Tajikistan, *Foods*, 6, 73; doi:10.3390/foods6090073 ,2017.

Gilani SA, Fujii Y, Shinwari ZK, Adnan M, et al., Phytotoxic studies of medicinal plant species of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany* 42, 986-996, 2010.

Gholami Zali, A., Ehsanzadeh, P., Szumny, A., et al., Genotype-specific response of *Foeniculum vulgare* grain yield and essential oil composition to proline treatment under different irrigation conditions. *Ind. Crops Prod.* 124, 177–185, 2018.

Kucukboyac N, Ozkan S, Adıguzel N et al. Characterisation and antimicrobial activity of *Sophora alopecuroides L. var. alopecuroides* alkaloid extracts. *Turk J Biol* 35: 379–385, 2011.

Liman R, Eren Y, Akyıl D et al. Determination of mutagenic potencies of aqueous extracts of *Thermopsis turcica* by Ames test. *Turk J Biol* 36: 85–92, 2012.

Maryam Nourimand, Sasa Mohsenzadeh, Jaime A., Allelopathic Potential of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology* 5 (1), 54-57, 2011.

Marotti, M., Piccaglia, R., Giovanelli et al. Effects of variety and ontogenic stage on the essential oil composition and biological activity of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Essential Oil Research*, 6(1), 57-62, 1994.

Mimica-Dukic, N.; Kujundiyic, S.; Sokovic, M. Et al., Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. Obtained by different distillation conditions. *Phytother. Res.*, 17, 368–371, 2003.

Mohamed Bilal Goudjil, Souad Zighmi, Djamila Hamada et al. Biological activities of essential oils extracted from *Thymus capitatus* (Lamiaceae), *South African Journal of Botany* 128: 1-9,2020.

Mustapha Abdellaoui, Eimad dine Tariq Bouhlali, Mgal Derouich, Essential oil and chemical composition of wild and cultivated fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): A comparative study, *South African Journal of Botany* 135 93-100, 2020.

Muckensturm, B., Foelcherlen, D., Reduron, J. P., et al. Phytochemical and chemotaxonomic studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical systematics and ecology*, 25(4), 353-358,1997.

Piccaglia, R., & Marotti, M. Characterization of some Italian types of wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(1), 239-244, 2001.

Rahmani, M., [Investigation on the essential oil from the moroccan bitter fennel (*Foeniculum vulgare* Miller, var. *Vulgare* Miller thellung)]. [French]. *Actes de l'Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II* 6, 5–11, 1986.

Shahat, A.A., Hammouda, F.M., Shams, K.A., et al., Comparative chemical analysis of the essential oil of wild and cultivated Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *J. Essent. Oil Bear. Plants* 15, 314–319, 2012.

Singh HP., Batish DR., Kaur S., Kohli RK., Phytotoxic interference of *Ageratum conyzoides* with wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Agronomy and Crop Science* 189, 341-346, 2003.



Investigation of Disruptive Effect on Voltage Stability Caused by Line Contingency in Power Systems and Improvement of System Stability

Umut Emre Uzun^{1*}, Nihat Pamuk², Sezai Taşkın³

^{1*} Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6209-2962), umut.uzun@beun.edu.tr

² Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8980-6913), nihatpamuk@gmail.com

³ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2763-1625), sezai.taskin@cbu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.983884)

ATIF/REFERENCE: Uzun, U. E., Pamuk, N. & Taşkın, S. (2021). Investigation of Disruptive Effect on Voltage Stability Caused by Line Contingency in Power Systems and Improvement of System Stability. *European Journal of Science and Technology*, (28), 56-62.

Abstract

There are many situations that cause voltage instability in power systems. One of these situations is line contingency that may occur in power systems. In this study, the effects of line contingency on the steady state are investigated in the IEEE 9 buses power system. Firstly, the static and dynamic analyses of the power system are made in normal operating condition. Continuous power flow analysis was used as static analysis and time domain simulation method were used as dynamic analysis. Then each transmission line is deactivated and the analyses are repeated. The changes in the maximum loading capacity and voltage stability of the system are investigated in case of each transmission line contingency. Finally, Static Var Compensator (SVC) is connected to the power system to improve the stability level. When the SVC is connected to the power system, the maximum loading capacity of the system is examined and the effects of this situation on the voltage stability are analyzed. All analyses are performed in the MATLAB® PSAT (Power System Analysis Toolbox). The results showed that the line contingency reduces the maximum loading capacity and deteriorates the voltage stability. It has been observed that both the problems can be eliminated with the SVC integration into the power system.

Keywords: Line contingency, Voltage stability, Maximum Loading Capacity, SVC, PSAT.

Güç Sistemlerinde Hat Kopmasının Sebep Olduğu Gerilim Kararlılığındaki Bozucu Etkinin İncelenmesi ve Sistem Kararlılık Seviyesinin İyileştirilmesi

Öz

Güç sistemlerinde gerilim kararsızlığına sebep olan pek çok durum söz konusudur. Bu durumlardan biri de güç sistemlerinde meydana gelme olasılığı her an mümkün olan hat kopmalarıdır. Bu çalışmada, IEEE 9 baralı güç sisteminde hat kopmalarının kararlı çalışma durumu üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk olarak güç sisteminin normal çalışma durumundaki statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Statik analiz olarak sürekli güç akış analizi, dinamik analiz olarak zaman domeni simülasyon metodu kullanılmıştır. Daha sonra her bir iletim hattı devre dışı bırakılarak analizler tekrarlanmıştır. Her bir iletim hattının kopması durumunda, sistemin maksimum yüklenme kapasitesindeki ve gerilim kararlılığındaki değişimler incelenmiştir. Son olarak sistemin kararlılık seviyesinin iyileştirilmesi amacıyla güç sistemine SVC (Statik Var Kompansatör) bağlanmıştır. Güç sistemine SVC bağlı olduğu durumda, sistemin maksimum yüklenme kapasitesi incelenmiş ve bu durumun gerilim kararlılığına olan etkileri analiz edilmiştir. Tüm analizler MATLAB® PSAT (Power System Analysis Toolbox) programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler hat kopmasının maksimum yüklenme kapasitesini azalttığını ve gerilim kararlılığını bozduğunu göstermiştir. Güç sistemine SVC entegrasyonu ile her iki sorunun da düzeltilebileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hat kopması, Gerilim kararlılığı, Maksimum Yüklenme Kapasitesi, SVC, PSAT.

* Corresponding Author: umut.uzun@beun.edu.tr

1. Introduction

The demand for electrical energy is increasing day by day (Tosun & Öztürk, 2020). In order to meet the increasing demand, the existing power systems are operated at full capacity in case of need. If the power system is insufficient to meet the demand, the power system is expanded with additional facilities (Kumar, Kumar, & Sharma, 2020). The expanding power system becomes more complex and difficult to control. This situation makes it difficult to provide the power system stability. Power system stability is based on the rotor-angle, frequency and voltage stability sub-classes.

Rotor angle stability is the ability to continue operating synchronously even if the synchronous machines in the power system are exposed to a disturbance (Sutter, 2016). If any synchronous machine works faster or slower than the other machines in the power system, it causes to change in angular position between them. This situation is caused a load change on the machines and a decrease in the power transmission capacity. As the angle difference increases continuously, synchronous loss and rotor-angle instability occur.

Frequency stability is the ability of the system to remain at a constant frequency, even if there is an imbalance between the load and generation in case the power system is exposed to a disturbance (Amjady & Fallahi, 2010). Deactivation of one or more of the synchronous machines or loads in the power system or the activation of a new energy source is caused to change in the system frequency. Frequency instability occurs as a result of frequency oscillations caused by change.

Voltage stability is the ability of all buses of the system to remain at an acceptable voltage level even when the power system is exposed to a disturbance (Kundur, 1994). There are many factors that affect voltage stability in power systems. Step change in transformers, generator fault, line length, line contingency, short circuit and overloads are the factors that cause voltage instability. As a result of these factors or when reactive power demand increases due to consumption, voltage instability may occur. Increasing reactive power demand causes a drop in the voltage level of buses, and when voltage drop continues for a long time, voltage collapse occurs (Yeşilyurt & Akbal, 2020).

FACTS (Flexible AC Transmission System) devices are integrated into power systems in order to maintain system stability or control instability that may occur. FACTS devices perform reactive power compensation and improve system stability, transmission capacity, and power flow control. They also bring flexibility to the system (Lakkireddy, Rastgoufard, Leevongwat, & Rastgoufard, 2015).

Dwivedi and Vadhera studied voltage stability and reactive power sustainability using different FACTS devices (Dwivedi & Vadhera, 2019). Vardani determined the optimum location of the SVC device and examined the effect of SVC on the voltage magnitude (Vardani, 2019). In (Hermanu, Listiyanto, & Ramelan, 2019), the effects of SVC and UPFC devices were investigated on static voltage stability. In (Kumar, Raw, Gupta, & Kumar, 2019), the weakest bus was determined by voltage stability analysis and static analysis was performed by including SVC. In (Brillianto Apribowo, Listiyanto, & Ibrahim, 2019), the critical buses were determined and SVC was included to the critical buses and the improvement in the voltage profile of the SVC was observed by static analysis. In (Lakkireddy, Rastgoufard, Leevongwat, & Rastgoufard, 2015), SVC, STATCOM and TCSC was included in the power system. P-V curve was obtained and maximum loadability, active and reactive power losses were investigated with continuous power flow analysis. In these studies, the effects of SVC and other FACTS devices on voltage stability were investigated by only static analysis methods.

In this study, the voltage stability which is one of the system stability criteria has been examined in the IEEE 9 buses power system with both static and dynamic analysis methods. Continuation power flow analysis that is static analysis method and time domain analysis that is dynamic analysis method are performed with the MATLAB® PSAT. As a result of the analyses, the effect of the FACTS device on the voltage stability is examined by placing the FACTS device in the power system.

In this study, the voltage stability which is one of the system stability criteria has been examined in the IEEE 9 buses power system with both static and dynamic analysis methods. Continuation power flow analysis that is static analysis method and time domain analysis that is dynamic analysis method are performed with the MATLAB® PSAT. As a result of the analyses, the effect of the FACTS device on the voltage stability is examined by placing the FACTS device in the power system.

2. Material and Method

In the MATLAB® PSAT, all analyses are divided into two parts, static and dynamic.

Static analysis:

- Optimal Power Flow
- Continuation Power Flow
- Phasor Measurement Unit (PMU) Placement

Dynamic Analysis:

- Small Signal Stability
- Time Domain Simulation

In this study, continuous power flow analysis is used as static analysis and time domain analysis is used as dynamic analysis.

2.1. Continuation Power Flow Analysis

Continuation power flow analysis is a static analysis method used to determine the stable-unstable operating region and maximum loading point in the power system. The dynamic model of a power system is generally expressed by the following equations.

$$\dot{x} = f(x, y, \lambda) \quad (1)$$

$$0 = g(x, y, \lambda) \quad (2)$$

Where, x is called the state variable and it is a vectorial variable that contains the phase angle and angular velocity information of the generators in the power system. y is called an algebraic variable and it is a vectorial variable that contains the amplitude and phase angle information of the buses in the power system. Finally, λ is a scalar variable and it is used as loading parameter in the power system (Rosehart & Cañizares, 1999; Dirik, 2006). Jacobian matrix is used for analysis. The Jacobian matrix of the power system is obtained from the Eq. 1 and Eq. 2.

$$J = \begin{bmatrix} J_f \\ J_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & f_y \\ g_x & g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \\ \frac{\partial g}{\partial x} & \frac{\partial g}{\partial y} \end{bmatrix}_{(x^*, y^*, \lambda^*)} \quad (3)$$

(x^*, y^*, λ^*) is the critical point of the system and it is shown in Fig. 1. This point is also called the bifurcation point (Guo & Schlueter, 1994; Kwatny & Pasrija, 1986). The behavior of the

dynamic power system at the bifurcation point is examined with the J_x matrix which is called the system matrix. The J_x matrix is given in Eq.4.

$$J_x = f_x - f_y \cdot g_y^{-1} \cdot g_x \quad (4)$$

The determinant of g_y^{-1} is zero at the bifurcation point. Therefore, the Jacobian matrix is singular at this point. To eliminate this problem, continuation power flow analysis is applied to the power system (Oktaviani, Barlian, Apriani, & Syarif, 2020).

Continuation power flow analysis consists of two steps: prediction and correction. First, it is started with the known base case solution. The next case solution is found with the help of the tangent vector and the prediction step is completed. Then the solution that found using the Newton-Raphson Power Flow method is corrected. The reason for using the Newton-Raphson method is to solve nonlinear equations in the power flow (Sereeter, Vuik, & Witteveen, 2017).

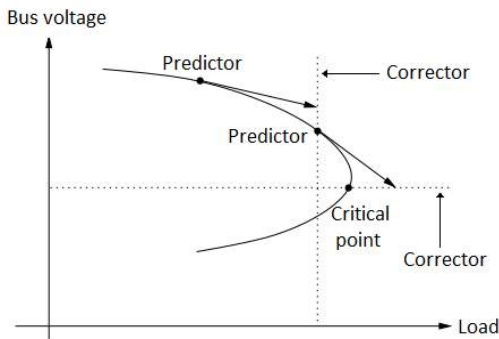


Figure 1: Voltage-loading parameter curve

2.2. Time Domain Simulation

Time domain simulation provides instant viewing and recording of data in the power system. Line contingency, short circuit faults, active and reactive power values and bus voltages can be monitored in detail with time domain simulation.

Power systems are generally expressed by the differential algebraic equation given in Eq. 5 and Eq. 6 for time domain simulation (Milano-1, 2010).

$$\dot{x} = f(x, y, t), \quad x(t_0) = x_0 \quad (5)$$

$$0 = g(x, y, t), \quad y(t_0) = y_0 \quad (6)$$

Numerical integration method is used to solve these equations. There are two approaches in the numerical integration method (Milano-2, 2005).

- Partitioned solution approach: In this approach, the x and y variables are solved sequentially and there is a delay time between x and y variables. This delay is avoided by iterating the x and y variables at each step. However, this can lead to numerical instability.
- Simultaneous solution approach: In this approach, x and y variables are solved in a single step. However, this approach requires iterative computation and therefore the Jacobian matrix is used. In this case, the solution process takes a long time.

The partitioned solution approach is faster than the simultaneous solution approach, but the PSAT is used simultaneous solution approach because there is instability in the partitioned solution approach. There are two numerical integration methods that the simultaneous solution approach is used in the PSAT.

- Euler's method: This method is a first-order integration method. It gives fast results but its accuracy is not very good.
- Trapezoidal method: This method is one of the most preferred methods in solving differential algebraic equations. It has also proven reliable in the analysis of power systems.

In this study, time domain simulation is performed with trapezoidal numerical integration method. Line contingency and bus voltage levels are examined. In addition, the effect of the FACTS device on the system is also examined by time domain simulation.

2.3. FACTS Devices

FACTS devices are static controllers designed with various power electronics elements to control power systems faster than conventional controllers and increase power transmission capacity. They are described as static controllers because they have no moving parts (Akgün, 2006). FACTS devices have two main purposes. The first is to increase the transmission capacity of the power system. The second is to control the power flow on the transmission lines (Bhowmick, 2018; Öztürk, Bozali, & Tosun, 2016). The devices can be used as current, voltage and impedance controllers in power systems, depending on their internal structure or user selection. Today, many FACTS devices with different structures have been developed. SVC is the most widely used in power systems, thanks to quick and easy installation.

2.3.1. SVC

SVC is a reactive power compensator connected in parallel to the circuit to control and stabilize certain parameters (especially bus voltage) of the power system (Das, Sen, Gupta, Shegaonkar, & Acharjee, 2018). SVC is used to control the bus voltages and protect the power system by adjusting the capacitive or inductive current with the output signal.

The general structure of the SVC is formed by connecting the fixed capacitor and the TCR (Thyristor-Controlled Reactor) in parallel and is shown in Fig. 2 (Turan, Sari, & Koker, 2021). TCR consists of capacitive reactance connected in series with two opposite polarity thyristors connected in parallel. TCR provide the system stability by adjusting the reactive power.

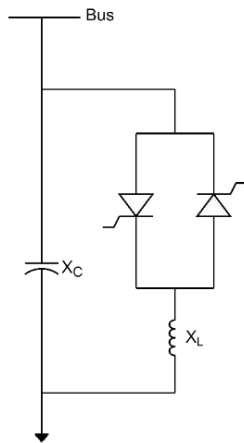


Figure 2: SVC internal structure

The reactive power expression of SVC is given in Eq. 7.

$$Q = V^2 \cdot b_{SVC} \quad (7)$$

In the equation, the susceptance value of SVC is expressed as $b_{SVC} = b_C - b_L$, where b_C is the susceptance value of the fixed capacitor and b_L is the susceptance value of the TCR. The dynamic structure of SVC is given in Fig. 3 (Milano-3, 2011).

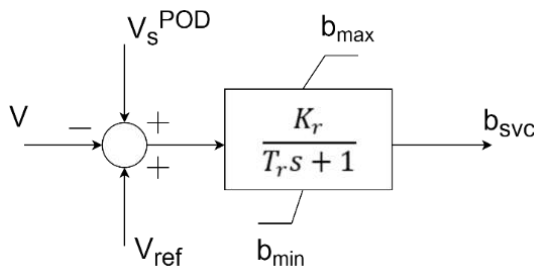


Figure 3: SVC dynamic structure

Where, V_{ref} is the voltage value of the system under the normal operating conditions. V_s^{POD} is a voltage control signal used to damp the occurred oscillation (Mandour, El-Shimy, Bendary, & Mansour, 2014). K_r is the gain value and T_r is the time constant in the dynamic structure of SVC (Shahgholian, Etesami, Shafaghi, Mahdavian, & Leilaeyoun, 2011). Respectively, b_{max} and b_{min} are the maximum and minimum susceptance values. In case of deactivation of the capacities, it is approached to b_{min} , and in case of activation, it is approached to b_{max} . Thus, inductive or capacitive current can be loaded to the system by the SVC. The voltage-current characteristic of SVC is given in Fig. 4 (Gandoman, et al., 2018).

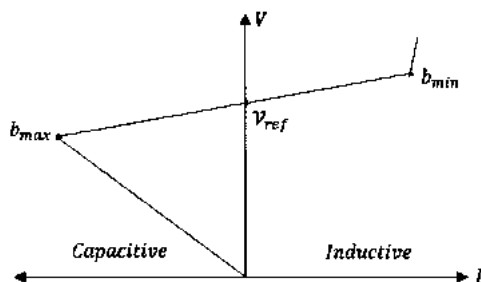


Figure 4: V-I characteristic of the SVC

3. Material and Method

3.1. Results

In this study, static and dynamic analyses are carried out using the IEEE 9 model power system given in Fig. 5. First of all, it was observed that there is no line contingency in the system and the loading parameter is $\lambda = 0.8$. The system is examined statically by continuation power flow analysis method. Bus voltage profile as a result of continuation power flow analysis is given in Fig. 6. Bus 5 has the lowest bus voltage with 0.8131 p.u.

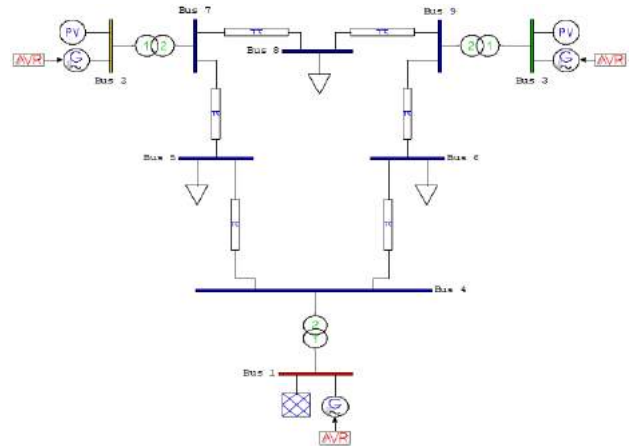


Figure 5: IEEE 9 bus power system

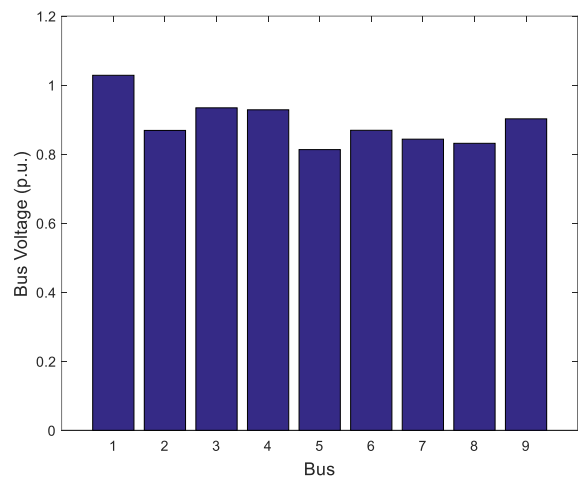


Figure 6: System bus voltage profile

The voltage-loading parameter curve of Bus 5 is given in Fig. 7. As a result of the analysis, the maximum loading parameter value was obtained as 1.6214.

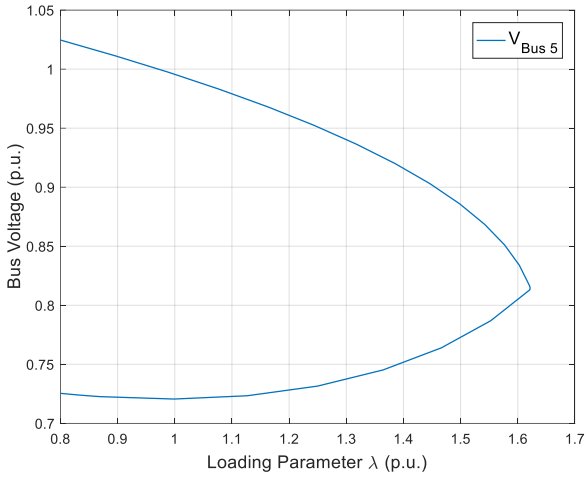


Figure 7: Bus 5 voltage-loading parameter curve

After static analysis, time domain simulation was performed for dynamic analysis. Fig. 8 shows the dynamic analysis result of Bus 5. It is observed that the bus voltage level is stable while there is no disturbances.

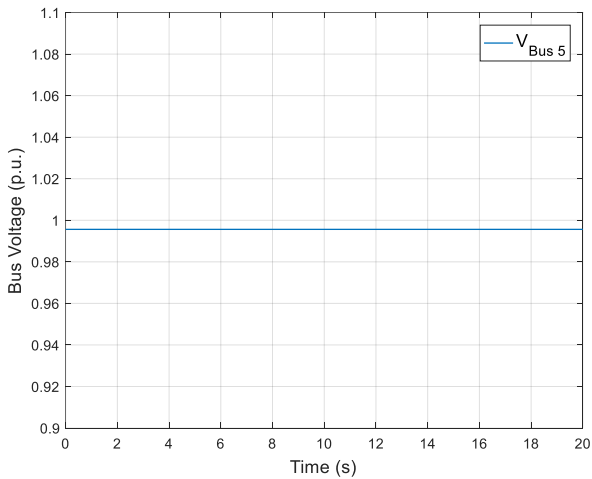


Figure 8: Bus 5 voltage-time graph

Secondly, the contingency of each line was examined in the power system after the 1st second. The changes that observe in the maximum loading parameter in case of line contingency are given in Table 1.

Table 1. Changes in the maximum loading parameter in case of line contingency

Transmission Line	Maximum Loading Parameter
No contingency	1.6214
2-7	1.5741
3-9	1.5418
4-5	1.1186
4-6	1.3681

5-7	1.3875
6-9	1.4431
7-8	1.3995
8-9	1.4843

The biggest decrease in the maximum loading parameter was observed in the case of the contingency of line 4-5 which connected to the weakest bus. In case of the 4-5 line contingency, the voltage-loading parameter curve of Bus 5 is given in Fig. 9 and dynamic analysis result is shown in Fig. 10.

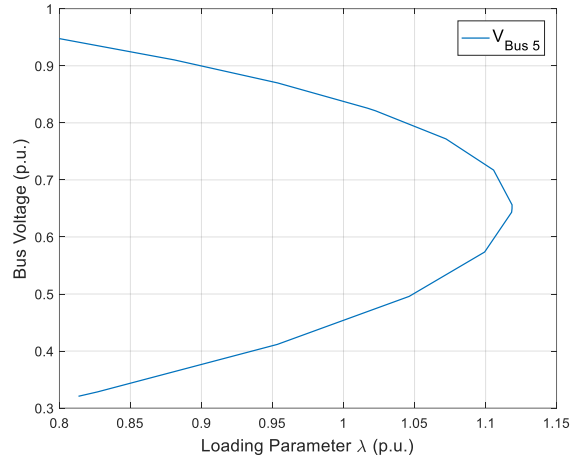


Figure 9: Bus 5 voltage-loading parameter curve in case of line contingency

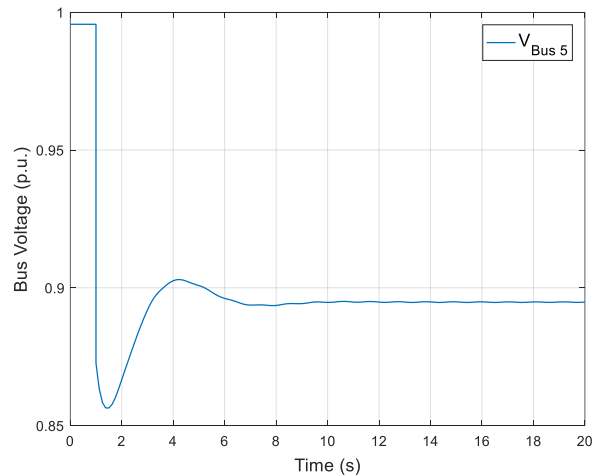


Figure 10: Bus 5 voltage-time graph in case of line contingency

As seen in Fig. 10, an instant drop occurred in bus voltage after the line contingency. After the line contingency (1. secs.), the system stabilization nearly takes 7 s.

Finally, the analyses are repeated by connecting a 100 MVA SVC to Bus 5 that had the lowest bus voltage in the first stage and that was the lowest maximum loading parameter with the contingency of the 4-5 line in the second stage.

With the SVC connection, the continuation power flow analysis was repeated and it was observed that the maximum loading parameter increased from 1.1186 to 1.3747. The voltage-loading parameter curve of Bus 5 is given in Fig. 11 and the dynamic analysis result is given in Fig. 12.

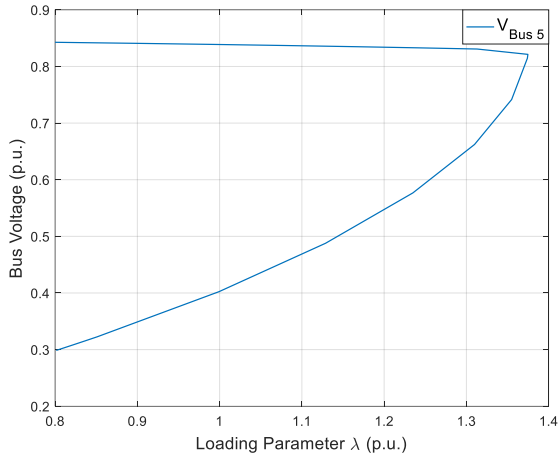


Figure 11: Voltage-loading parameter curve of Bus 5 with SVC in case of line contingency

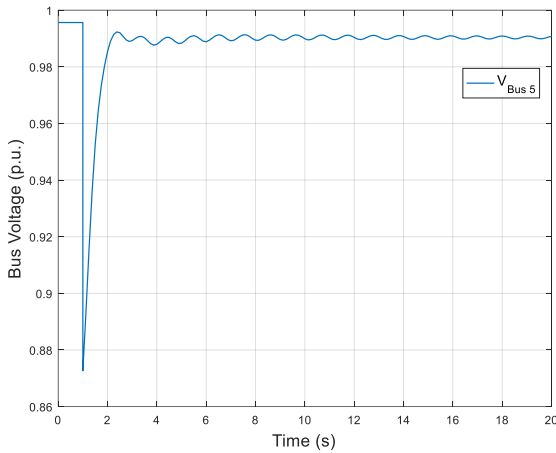


Figure 12: Voltage-time graph of Bus 5 with SVC in case of line contingency

In case of line contingency, it has been observed that the voltage value of Bus 5 drops suddenly but the bus voltage reaches its previous value in a very short time when SVC is activated. This shows that SVC improves voltage stability in case of line contingency in power systems.

3.2. Discussion

Voltage stability in power systems is an important issue that needs to be monitored and controlled. In this study, voltage stability analysis was performed in IEEE 9 buses power system. This analysis was repeated for three separate cases.

In the first case, $\lambda = 0.8$ was selected and the power system was operated without any fault and any improvement. With the continuation power flow analysis which is a static analysis method, the voltage value of each bus was calculated and Bus 5 was determined as the weakest bus. Also, the maximum loading capacity of the system was calculated by continuation power flow analysis. With the time domain simulation which is a dynamic analysis method, the voltage level of Bus 5 was examined in the range of 0-20 seconds and it was observed that it was in a stable state.

Secondly, line contingency which is one of the potential fault situations in power systems has been examined. Respectively, each transmission line was deactivated except for lines 1-4

(because line 1-4 provides the slack bus connection, if line 1-4 is deactivated, voltage collapse occurs) after 1 second and the analyses were repeated. As a result of the static analysis, it was observed that the maximum loading capacity decreased in all transmission lines, but the greatest decrease was determined in the 4-5 line which is connected the weakest bus. As a result of the dynamic analysis, it was observed that the voltage stability of the Bus 5 deteriorated with the contingency of the 4-5 line and it took a long time to improve.

Finally, a FACTS device was connected to the system to prevent the decrease in maximum loading capacity and improve the voltage stability. As the FACTS device, the most preferred and easily controllable SVC was used in power systems. Voltage instability in Bus 5 was corrected in a short time in case of 4-5 line contingency with SVC connection. It was also observed that the maximum loading capacity increased with SVC connection.

With this study, the effect of SVC on voltage stability was investigated with dynamic analyzes in addition to static analyzes in previous studies.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, it has been realized that continuation power flow analysis is an important analysis method in detecting the weakest bus, calculating the maximum loading capacity and observing the relationship between the bus voltage and maximum loading capacity. It has been proven that line contingency has a negative effect on maximum loading capacity and voltage stability in power system. With the integration of SVC into the power system, it has been observed that voltage stability has improved and maximum load capacity has increased. With the help of time domain analysis, it has been observed how the SVC behaves dynamically when a line contingency occurs in the power system.

References

- Akgün, Ö. (2006). *Statik Var Kompanzatör ve Tristör Kontrollü Reaktör Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi)*. Niğde, Türkiye.
- Amjady, N., & Fallahi, F. (2010). Determination of frequency stability border of power system to set the thresholds of under frequency load shedding relays. *Energy Conversion and Management (Elsevier)*, 51(10), 1864–1872.
- Bhowmick, S. (2018). *Flexible AC Transmission Systems (FACTS): Newton Power-Flow Modeling of Voltage-Sourced Converter-Based Controllers*. CRC Press.
- Brillianto Apriboowo, C. H., Listiyanto, O., & Ibrahim, M. H. (2019). Placement Static Var Compensator (SVC) for Improving Voltage Stability Based on Sensitivity Analysis : A Case Study Of 500 KV Java-Bali Electrical Power System. *6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)*.
- Das, S., Sen, D., Gupta, M., Shegaonkar, M., & Acharjee, P. (2018). Selection of Most Favourable FACTS device in Transmission Systems. *IEEE 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC) - Greater Noida, India (2018.4.13-2018.4.14)] 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, 550–556.

- Dirik, H. (2006). *STATCOM ve SSSC Denetleyicilerinin Güç Sistemi Gerilim Kararlılığı Üzerine Etkisinin İncelenmesi*(Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi). Samsun, Türkiye.
- Dwivedi, A. K., & Vadhera, S. (2019). Reactive Power Sustainability and Voltage Stability with Different FACTS Devices Using PSAT. *6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*.
- Gandoman, F. H., Ahmadi, A., Sharaf, A., Siano, P., Pou, J., Hredzak, B., & Agelidis, V. (2018). Review of FACTS technologies and applications for power quality in smart grids with renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (Elsevier)*, 502–514.
- Guo, T., & Schlueter, R. A. (1994). Identification of Generic Bifurcation and Stability Problems in Power System Differential-Algebraic Model. *IEEE Transactions on Power Systems*, 9(2), 1032-1044.
- Hermanu, C., Listiyanto, O., & Ramelan, A. (2019). Comparison of Static Var Compensator (SVC) and Unified Power Flow Controller (UPFC) for Static Voltage Stability Based on Sensitivity Analysis : A Case Study of 500 KV Java-Bali Electrical Power System. *International Conference on Technologies and Policies in Electric Power & Energy*.
- Kumar, L., Raw, B. K., Gupta, S. K., & Kumar, S. (2019). Voltage Stability Enhancement Using Shunt Devices and Identification of Weak Bus through Voltage Stability Indices . *4th International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT)*.
- Kumar, S., Kumar, A., & Sharma, N. (2020). A novel method to investigate voltage stability of IEEE-14 bus wind integrated system using PSAT. *Frontiers in Energy*(14(2)), 410-418.
- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill.
- Kwatny, H., & Pasrija, A. B. (1986). Static bifurcations in electric power networks: Loss of steady-state stability and voltage collapse. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 33(10), 981–991.
- Lakkireddy, J., Rastgoufard, R., Leevongwat, I., & Rastgoufard, P. (2015). Steady State Voltage Stability Enhancement Using Shunt and Series FACTS Devices . *Clemson University Power Systems Conference (PSC)*, 1-5.
- Mandour, M., El-Shimy, M., Bendary, F., & Mansour, W. M. (2014). Damping of Power Systems Oscillations using FACTS Power Oscillation Damper – Design and Performance Analysis. *16th International Middle- East Power Systems Conference (MEPCON)*.
- Milano-1, F. (2010). *Power System Modelling and Scripting*. London, U.K.: Springer.
- Milano-2, F. (2005). An Open Source Power System Analysis Toolbox. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(3), 1199–1206.
- Milano-3, F. (2011). *Power System Analysis Toolbox Documentation for PSAT version 2.1.6*. <https://pdfcoffee.com/qdownload/psat-documentation-2011-pdf-free.html>.
- Oktaviani, W. A., Barlian, T., Apriani, Y., & Syarif, N. (2020). Continuous Power Flow and Time Domain Analysis for Assessing Voltage Stability. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 191-198.
- Öztürk, A., Bozali, B., & Tosun, S. (2016). Güç Sistemi Kararlılığını İyileştirecek Facts Cihazlarının Bağlantı Noktasının Belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 812-825.
- Rosehart, W. D., & Cañizares, C. A. (1999). Bifurcation analysis of various power system models. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems (Elsevier)*, 21(3), 171-182.
- Sereeter, B., Vuik, K., & Witteveen, C. (2017). Newton Power Flow Methods for Unbalanced Three-Phase Distribution Networks. *Energies*.
- Shahgholian, G., Etesami, A., Shafaghi, P., Mahdavian, M., & Leilaeyoun, A. (2011). Power System Dynamic Performance Improvement with SVC Controller . *IEEE 2011 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 1-5.
- Sutter, J. (2016). *Application of FACTS Devices for Power System Transient Stability Enhancement (Master Thesis, Jomo Kenyatta University)*. Nairobi, Kenya.
- Tosun, S., & Öztürk, A. (2020). Investigation of Voltage Stability in Different Operating Conditions. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7 (1), 179-188.
- Turan, O., Sarı, Y., & Koker, R. (2021). Modelling a Static VAR Compensator consist of TCR and TSC. *Turkish Journal of Science & Technology*, 16(1), 11-21.
- Vardani, B. (2019). Optimum Location of SVC in an IEEE 33 Bus Radial Distribution System Using Power Sensitivity Index. *International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*.
- Yeşilyurt, T., & Akbal, B. (2020). Elektrik Tesislerinde Gerilim Kararlılığının Sağlanması için Kullanılan Yöntemler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (Özel sayı)*, 287-292.



Assessment of Site Selection Criteria for Medical Waste during COVID-19 Pandemic

Mehmet Ali Taş^{1*}

^{1*} Türk-Alman Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3333-7972), mehmetali.tas@tau.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.984857)

ATIF/REFERENCE: Taş, M. A. (2021). Assessment of Site Selection Criteria for Medical Waste during COVID-19 Pandemic. *European Journal of Science and Technology*, (28), 63-69.

Abstract

The COVID-19 virus has affected the whole world, causing it to be declared a pandemic. To prevent the spread of the virus, the use of medical products such as masks and disinfectants was encouraged and even mandatory in some places. This situation makes the waste of medical products used a threat to public health. It becomes an important decision where to depot the used medical products before disposal due to the risk of containing the virus. There are many criteria to consider during the selection of a site. This study includes the evaluation of criteria for the selection of pre-disposal temporary landfill site for medicinal products in Turkey. Eight criteria were determined to be used in the selection of these sites. The weights of the criteria were calculated using the fuzzy Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment (PIPRECIA) method, which is a multi-criteria decision making method. According to the results, it was concluded that the most important evaluation criterion was distance to residential areas. The results of this study are aimed to contribute to the management of medical waste.

Keywords: COVID-19, Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy PIPRECIA, Medical Waste, Site Selection.

COVID-19 Pandemisinde Tıbbi Atıklar için Yer Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesi

Öz

COVID-19 virüsü tüm dünyayı etkilemiş ve pandemi ilan edilmesine neden olmuştur. Virüsün yayılmasını önlemek için maske ve dezenfektan gibi tıbbi ürünlerin kullanımı teşvik edilmiş ve hatta bazı yerlerde zorunlu hale getirilmiştir. Bu durum, kullanılan tıbbi ürünlerin atıklarını halk sağlığı için bir tehdit haline getirmektedir. Virüs içerme riski nedeniyle kullanılmış tıbbi ürünlerin bertarafından önce nerede toplanacağı önemli bir karar haline gelmiştir. Yer seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken birçok kriter bulunabilir. Bu çalışma, Türkiye'de tıbbi ürünler için bertaraf işlemi öncesi geçici toplama yeri seçimindeki kriterlerin değerlendirilmesini içermektedir. Bu yerlerin seçiminde kullanılmak üzere on değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıkları, bir çok kriterli bir karar verme yöntemi olan bulanık PIPRECIA yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en önemli değerlendirme kriterinin yerleşim alanlarına uzaklık olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarının tıbbi atık yönetimine katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Çok Kriterli Karar Verme, Bulanık PIPRECIA, Medikal Atık, Yer Seçimi.

* Corresponding Author: mehmetali.tas@tau.edu.tr

1. Introduction

The COVID-19 virus has spread rapidly all over the world because it can easily be transmitted from person to person (Shereen et al., 2020). Due to its severe consequences, it threatens especially the elderly and people with chronic diseases. In order to be protected from the virus and not be infected, it is recommended by the World Health Organization that people wear personal face coverings (masks) in daily life (WHO, 2021). In addition to many precautions such as washing hands, not touching the face, and self-isolating; personal protective equipment and products also can be used such as alcohol-based sanitizers, gloves, and so on (FDA, 2020). The necessity of changing single-use masks frequently and the plastic bottles of virus-killing products as hand sanitizers make the medical waste a subject to be considered.

The amount of medical waste, which was an average of 40 tons per day in the city of Wuhan (China), increased sixfold in 2020, when the COVID-19 epidemic began, to 240 tons per day (SCMP, 2020). Some researches have emphasized recycling the waste of medical products during COVID-19 period (Crespo et al., 2021). Despite this, the disposal of these products is preferred in terms of public health (Sangkham, 2020). They should be accumulated separately from general recyclables such as plastic, glass, or paper products. Many countries have decided to determine separate bins for medical products and to temporarily landfill the collected products in distanced sites before disposal (Sharma et al., 2020). The problem of the site assessment is challenging and complex, as there are different criteria to be considered. For this purpose, multi-criteria decision making methods (MCDM) can be utilized in COVID-19 cases (Çakır et al., 2021).

MCDM methods are standardized methods that enable decision analysis by evaluating contradictory criteria together. In the literature, there are many studies on site selection and assessment in various application areas with the help of MCDM methods (Shao et al., 2020; Malemnganbi & Shimray, 2020). Sánchez-Lozano et al. (2013) used MCDM methods, AHP and TOPSIS, in an integrated way, to appraise solar farm sites in Spain. Chen et al. (2014) also used DANP and DEMATEL methods as MCDM methods for solar farm site selection. Żak and Węgliński (2014) selected the best location for the logistics center with the ELECTRE III/IV method. Similarly, Mihajlović et al. (2019) implemented WASPAS and AHP methods in choosing the logistics distribution center location in Serbia. Lin et al. (2020) evaluated alternative locations for the car-sharing station in China using the extended MULTIMOORA method. As a recent example, Boyacı and Şişman (2021) employed Pythagorean fuzzy AHP and TOPSIS as MCDM methods in the analysis of places where a pandemic hospital could be established in a province in Turkey.

More specifically, MCDM methods are also utilized in solving waste site selection problems. Liu et al. (2014) used interval 2-tuple linguistic VIKOR in order to site selection for waste management. Şener et al. (2011) selected the best site for solid waste disposal in a region in Turkey using AHP as an MCDM method. Kahraman et al. (2017) also investigated three alternative locations according to three criteria in the site selection study for solid waste disposal using interval-valued intuitionistic fuzzy EDAS. Rahimi et al. (2020) implemented a methodology including BWM, MULTIMOORA, and GIS in order to select

sustainable landfill sites for municipal waste in Iran. As can be noticed, these and other MCDM methods can be employed in combination with fuzzy sets (Taş & Çakır, 2021; Çakır & Ulukan, 2021).

Fuzzy set theory was introduced by Zadeh (1965) in order to reflect the uncertainty in the opinions of decision makers (DMs). Combining fuzzy sets and MCDM methods together, decision making can be executed by subjective judgments in an imprecise information environment (Tseng, 2011). Fuzzy AHP (Vahidnia et al., 2009), fuzzy ANP (Isalou et al., 2013), fuzzy TOPSIS (Senvar et al., 2016), fuzzy TODIM (Hanine et al., 2016), fuzzy EDAS (Kahraman et al., 2017), and fuzzy VIKOR (Kutlu Gündoğdu & Kahraman, 2019) are some of the frequently used fuzzy MCDM methods in order to site appraisal. In addition to these methods, fuzzy PIPRECIA, which is a fuzzy MCDM method, can also be used in site assessment problems.

Stanujkic et al. (2017) introduced PIPRECIA method as an extension of the SWARA method, which was proposed by Keršulienė et al. (2010). The PIPRECIA has major advantages over SWARA, such as being suitable for group decision making (Stević et al., 2018). The method can be benefited as a tool for MCDM. Stević et al. (2018) determined the conditions in the application of barcode technology with SWOT analysis and weighted them using fuzzy PIPRECIA. Blagojević et al. (2020) implemented a methodology in which the weights of the subjective criteria taken into account in the appraisal of railway safety were calculated with fuzzy PIPRECIA and also included DEA and Entropy. Đalić et al. (2020), on the other hand, used the same fuzzy method to determine the weights of the green supplier selection criteria. Vesković et al. (2020) and Tomašević et al. (2020) are also involved in studies using fuzzy PIPRECIA to calculate criteria weights in different application areas.

This study includes determining the importance of the criteria for selecting a site for medical wastes during the COVID-19 pandemic period in Turkey. As a result of the literature review, eight criteria were determined. In the assessment of the criteria, the opinions of four DMs were taken. According to these opinions, the fuzzy PIPRECIA method is used to calculate the weights. The fuzzy PIPRECIA method was preferred because of its structure suitable for group decisions. The aim of the study is to contribute to the solution of site assessment problems for medical wastes.

The rest of this study is structured as: The fuzzy PIPRECIA methodology is given in Section 2. The methodology is implemented in a case study in Section 3. Finally, the study is ended with the conclusion, limitations, and future directions in Section 4.

2. Methodology

The fuzzy PIPRECIA method consists of basically two main steps and the steps below them (Stanujkic et al., 2017; Stević et al., 2018).

Step 1. The normal fuzzy PIPRECIA steps

Step 1. 1. Determining the attributes (criteria) and sorting them by their expected priorities (without classification).

Step 1. 2. Starting with the second-order criterion, each DM assesses the previously sorted C_j criteria (Eq. (1)). In Eq. (1), the

notation \tilde{s}_j^r represents for DM's evaluation for criteria. The scales for evaluations are placed in Table 1.

Table 1. The scales for evaluations of the criteria

Scale 0-1		Scale 1-2	
Linguistic variables	Fuzzy number	Linguistic variables	Fuzzy number
Absolutely less significance	(2/9, 1/4, 2/7)	Absolutely more significance	(8/5, 19/10, 39/20)
Dominantly less significance	(1/4, 2/7, 1/3)	Dominantly more significance	(3/2, 7/4, 9/5)
Much less significance	(2/7, 1/3, 2/5)	Much more significance	(7/5, 8/5, 33/20)
Really less significance	(1/3, 2/5, 1/2)	More significance	(13/10, 29/20, 3/2)
Less significance	(2/5, 1/2, 2/3)	Moderately more significance	(6/5, 13/10, 27/20)
Moderately less significance	(1/2, 2/3, 1)	Slightly more significance	(11/10, 23/20, 6/5)
Weakly less significance	(2/3, 1, 1)	Almost equal significance	(1, 1, 21/20)

If the criterion has less importance than the previous one, linguistic variables from the 0-1 scale in Table 1 should be used, and if vice versa, linguistic variables from the 1-2 scale should be used.

$$\tilde{s}_j^r = \begin{cases} > \tilde{1} & \text{when } C_j > C_{j-1} \\ = \tilde{1} & \text{when } C_j = C_{j-1} \\ < \tilde{1} & \text{when } C_j < C_{j-1} \end{cases} \quad (1)$$

Step 1. 3. Obtaining \tilde{k}_j value using Eq. (2):

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} \tilde{1} & \text{if } j = 1 \\ \tilde{2} \ominus \tilde{s}_j & \text{if } j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Step 1. 4. Determining fuzzy \tilde{q}_j value with Eq. (7):

$$\tilde{q}_j = \begin{cases} \tilde{1} & \text{if } j = 1 \\ \frac{\tilde{q}_{j-1}}{\tilde{k}_j} & \text{if } j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Step 1. 5. Calculating the fuzzy relative weight \tilde{w}_j by Eq. (4):

$$\tilde{w}_j = \frac{\tilde{q}_j}{\sum_{j=1}^n \tilde{q}_j} \quad (4)$$

Step 2. The inverse fuzzy PIPRECIA steps

Step 2. 1. All the operations given in the first main step are repeated from the last criterion to the first for n criteria. The $\tilde{s}_j^{r'}$ can be obtained with Eq. (5):

$$\tilde{s}_j^{r'} = \begin{cases} > \tilde{1} & \text{when } C_j > C_{j+1} \\ = \tilde{1} & \text{when } C_j = C_{j+1} \\ < \tilde{1} & \text{when } C_j < C_{j+1} \end{cases} \quad (5)$$

Step 2. 2. Obtaining \tilde{k}_j^r value using Eq. (6):

$$\tilde{k}_j^r = \begin{cases} \tilde{1} & \text{if } j = n \\ \tilde{2} \ominus \tilde{s}_j & \text{if } j > n \end{cases} \quad (6)$$

Step 2. 3. Determining fuzzy \tilde{q}_j^r value with Eq. (7):

$$\tilde{q}_j^r = \begin{cases} \tilde{1} & \text{if } j = n \\ \frac{\tilde{q}_{j+1}^r}{\tilde{k}_j^r} & \text{if } j > n \end{cases} \quad (7)$$

Step 2. 4. Calculating the fuzzy relative weight \tilde{w}_j^r with Eq. (8):

$$\tilde{w}_j^r = \frac{\tilde{q}_j^r}{\sum_{j=1}^n \tilde{q}_j^r} \quad (8)$$

Step 2. 5. Combining the main steps. The final fuzzy weights of the criteria are obtained by using the arithmetic mean of the calculated fuzzy weights (Eq. (9):

$$\tilde{w}_j^f = \frac{\tilde{w}_j + \tilde{w}_j^r}{2} \quad (9)$$

Step 2. 6. The fuzzy weights of the criteria are defuzzified using Eq. (10) and the final criteria weights are reached.

$$w_j^f = \frac{a+(4*b)+c}{6} \quad (10)$$

While applying fuzzy PIPRECIA steps, the rules of arithmetic operations on fuzzy numbers are followed. These operations for two triangular fuzzy numbers ($A_1 = (a_1, b_1, c_1)$ and $B_1 = (a_2, b_2, c_2)$) are shown in Eq. (11)-(14):

$$A_1 \oplus B_1 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \quad (11)$$

$$A_1 \otimes B_1 = (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2) \quad (12)$$

$$A_1 \ominus B_1 = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2) \quad (13)$$

$$\frac{A_1}{B_1} = \left(\frac{a_1}{c_2}, \frac{b_1}{b_2}, \frac{c_1}{a_2} \right) \quad (14)$$

3. Case Study

During the COVID-19 period, the usage of medical products, especially single-use masks, has increased exponentially. Used medical products should be disposed without posing a danger to people. These products should be collected at determined sites before disposal. It is aimed by the managers to manage the waste of products properly. It is planned to transport the wastes to the main disposal centers in cities after the temporary landfills. In addition, it is expected that these waste sites also can be suitable for the disposal process according to the amount of waste.

This case study includes the evaluation of the selection of temporary landfill sites for medical waste in Turkey. The assessment criteria created by the literature review are given in Table 2. The opinions of four DMs (DM1, DM2, DM3, and DM4) were consulted to calculate the weights of the criteria.

Table 2. The evaluation criteria

Criteria code	Criteria	References
C1	Underground water	Torkayesh et al. (2021)
C2	Accessibility to main roads	Liu et al. (2014)
C3	Capacity	Shi et al. (2019)
C4	Distance to residential areas	Sharifi & Retsios (2004)
C5	Potential adjacent land using	Shi et al. (2019)
C6	Distance to forests	Şener et al. (2011)
C7	Slope	Kahraman et al. (2017)
C8	Infrastructure	Moghaddas & Namaghi (2011)

In order to apply the fuzzy PIPRECIA method, four DMs evaluated the criteria listed from C1 to C8 in pairs. The second step of normal fuzzy PIPRECIA (Step 1.2) and the first step of the inverse fuzzy PIPRECIA (Step 2.1) were conducted together.

The importance relationship (\tilde{s}_j^r) of all consecutive criteria from C1 to C8 according to Eq. (1) in Step 1.2 was assessed by each DM starting from the second row. Linguistic variables in Table 1 and their fuzzy number equivalents were used for the evaluation scale.

For example, the criterion C4 is less important than for C3 for DM2 (\tilde{s}_j^r). For this reason, DM selected an assessment from the 0-1 scale in Table 1 and stated that it has "moderately less significance". On the contrary, DMs also compared the criteria from C8 to C1 pairwise and again selected the appropriate linguistic variables from Table 1 (Step 2.1). The assessments that include the fuzzy number equivalents ($\tilde{s}_j^{r'}$) of linguistic variables are given in Table 3.

Table 3. The evaluations of DMs

Criteria	DM1		DM2		DM3		DM4	
	The Normal PIPRECIA	The Inverse PIPRECIA	The Normal PIPRECIA	The Inverse PIPRECIA	The Normal PIPRECIA	The Inverse PIPRECIA	The Normal PIPRECIA	The Inverse PIPRECIA
	\tilde{s}_j^1	$\tilde{s}_j^{1'}$	\tilde{s}_j^2	$\tilde{s}_j^{2'}$	\tilde{s}_j^3	$\tilde{s}_j^{3'}$	\tilde{s}_j^4	$\tilde{s}_j^{4'}$
C1	-	(0.400, 0.500, 0.667)	-	(0.500, 0.667, 1)	-	(1.100, 1.150, 1.200)	-	(0.500, 0.667, 1)
C2	(1.200, 1.300, 1.350)	(0.500, 0.667, 1)	(1.100, 1.150, 1.200)	(0.667, 1, 1)	(0.500, 0.667, 1)	(1.100, 1.150, 1.200)	(1.100, 1.150, 1.200)	(0.500, 0.667, 1)
C3	(1.100, 1.150, 1.200)	(0.667, 1, 1)	(1, 1, 1.050)	(1.100, 1.150, 1.200)	(0.500, 0.667, 1)	(1, 1, 1.050)	(1.100, 1.150, 1.200)	(0.333, 0.400, 0.500)
C4	(1, 1, 1.050)	(1, 1, 1.050)	(0.500, 0.667, 1)	(1.300, 1.450, 1.500)	(0.667, 1, 1)	(0.667, 1, 1)	(1.300, 1.450, 1.500)	(1, 1, 1.050)
C5	(0.667, 1, 1)	(1.200, 1.300, 1.350)	(0.333, 0.400, 0.5)	(1.100, 1.150, 1.200)	(1, 1, 1.050)	(1.200, 1.300, 1.350)	(0.667, 1, 1)	(0.667, 1, 1)
C6	(0.400, 0.500, 0.667)	(1, 1, 1.050)	(0.500, 0.667, 1)	(1, 1, 1.050)	(0.400, 0.500, 0.667)	(1.300, 1.450, 1.500)	(1, 1, 1.050)	(1, 1, 1.050)
C7	(0.667, 1, 1)	(0.500, 0.667, 1)	(0.667, 1, 1)	(0.500, 0.667, 1)	(0.333, 0.400, 0.500)	(1, 1, 1.050)	(0.667, 1, 1)	(0.400, 0.500, 0.667)
C8	(1.100, 1.150, 1.20)	-	(1.100, 1.150, 1.200)	-	(0.667, 1, 1)	-	(1.200, 1.300, 1.350)	-

Subsequently, the evaluations of the DMs were aggregated with the arithmetic average to apply the remaining steps of the normal fuzzy PIPRECIA method. Calculated \tilde{k}_j , \tilde{q}_j , and \tilde{w}_j values from Eq. (2)-(4) are given in Table 4, respectively. The \tilde{w}_j are relative fuzzy weights computed by the normal fuzzy PIPRECIA steps.

These steps were also followed for the inverse fuzzy PIPRECIA. The \tilde{k}'_j , \tilde{q}'_j , and \tilde{w}'_j values from Eq. (6)-(8) are given in Table 5, respectively. The \tilde{w}'_j are relative fuzzy weights computed by the inverse fuzzy PIPRECIA steps.

Table 4. Results of calculation in the normal fuzzy PIPRECIA

Criteria	\tilde{s}_j	\tilde{k}_j	\tilde{q}_j	\tilde{w}_j
C1	-	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0.096, 0.138, 0.188)
C2	(0.975, 1.067, 1.188)	(0.813, 0.933, 1.025)	(0.976, 1.072, 1.231)	(0.094, 0.148, 0.232)
C3	(0.925, 0.992, 1.113)	(0.888, 1.008, 1.075)	(0.908, 1.063, 1.387)	(0.087, 0.147, 0.261)
C4	(0.867, 1.029, 1.138)	(0.863, 0.971, 1.133)	(0.801, 1.095, 1.608)	(0.077, 0.151, 0.303)
C5	(0.667, 0.850, 0.888)	(1.113, 1.150, 1.333)	(0.601, 0.952, 1.445)	(0.058, 0.131, 0.272)
C6	(0.575, 0.667, 0.846)	(1.154, 1.333, 1.425)	(0.422, 0.714, 1.252)	(0.041, 0.099, 0.236)
C7	(0.584, 0.850, 0.875)	(1.125, 1.150, 1.417)	(0.298, 0.621, 1.113)	(0.029, 0.086, 0.210)
C8	(1.017, 1.150, 1.188)	(0.813, 0.850, 0.983)	(0.303, 0.730, 1.370)	(0.029, 0.101, 0.258)
Total			(5.306, 7.246, 10.406)	

Table 5. Results of calculation in the inverse fuzzy PIPRECIA

Criteria	\tilde{s}_j	\tilde{k}_j	\tilde{q}_j	\tilde{w}_j
C1	(0.625, 0.746, 0.967)	(1.033, 1.254, 1.375)	(0.363, 0.768, 1.623)	(0.033, 0.099, 0.290)
C2	(0.692, 0.871, 1.050)	(0.950, 1.129, 1.308)	(0.499, 0.963, 1.677)	(0.045, 0.124, 0.299)
C3	(0.775, 0.888, 0.938)	(1.063, 1.113, 1.225)	(0.652, 1.088, 1.593)	(0.059, 0.140, 0.284)
C4	(0.992, 1.113, 1.150)	(0.850, 0.888, 1.008)	(0.799, 1.210, 1.693)	(0.072, 0.156, 0.302)
C5	(1.042, 1.188, 1.225)	(0.775, 0.813, 0.958)	(0.806, 1.074, 1.439)	(0.073, 0.139, 0.257)
C6	(1.075, 1.113, 1.163)	(0.838, 0.888, 0.925)	(0.772, 0.872, 1.115)	(0.070, 0.113, 0.199)
C7	(0.600, 0.709, 0.929)	(1.071, 1.292, 1.400)	(0.714, 0.774, 0.934)	(0.065, 0.100, 0.167)
C8	-	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0.090, 0.129, 0.178)
Total			(5.605, 7.749, 11.074)	

The relative fuzzy weights \tilde{w}_j and \tilde{w}_j^f , calculated in Table 4 and Table 5 were combined using Eq. (9). The fuzzy weights of the criteria were defuzzified using Eq. (10) and the final criteria weights as crisp numbers (w^f) were calculated in Table 6.

Table 6. The final weights of criteria

Criteria	\tilde{w}_j^f	w_j^f
C1	(0.064, 0.119, 0.239)	0.130
C2	(0.069, 0.136, 0.266)	0.147
C3	(0.073, 0.143, 0.273)	0.153
C4	(0.075, 0.154, 0.302)	0.165
C5	(0.065, 0.135, 0.265)	0.145
C6	(0.055, 0.106, 0.217)	0.116
C7	(0.047, 0.093, 0.188)	0.101
C8	(0.060, 0.115, 0.218)	0.123

According to the results, it was concluded that the most important criterion is C4 (distance to residential areas) with 0.165. This criterion is followed by C3 (capacity) and C2 (accessibility to main roads), respectively. The result of the method revealed that the least important criterion is C7 (slope).

4. Conclusion

The COVID-19 virus continues to occupy the world agenda. It is recommended to use various medical products to protect against the virus. This situation creates an increase in the use of medical products and a subsequent medical waste burden. Medical waste management has become an important issue to handle. These waste products should be collected at certain sites before the disposal process. Site selection is a challenging problem due to the large number of attributes to consider. The importance of these attributes (criteria) directly affects the selection. MCDM methods are suitable tools for calculating criteria weights.

In this study, the factors affecting the selection of sites where medical wastes collect temporarily in Turkey were examined. In order to determine the evaluation criteria, a literature review was conducted and eight criteria were selected. Weights were

calculated using the fuzzy PIPRECIA as an MCDM method with the opinions of four DMs. According to the results, the most important selection criterion was the distance to residential areas. Capacity and accessibility to main roads criteria are also criteria of high importance.

There are some limitations of this study. Since the fuzzy PIPRECIA method is a subjective method, the results are completely dependent on the opinions of the DMs. Different results may occur with groups of DMs made up of different people. In addition, the site assessment problems for medical waste may differ according to the economic, social, or geographical characteristics of different cities or countries over time as these are dynamic problems.

In future studies, it is recommended to reflect a more comprehensive perspective by increasing the number of DMs. The case study can be expanded by adding other economic, environmental, and social criteria. It would be beneficial to improve results by evaluating alternative sites with a hybrid MCDM method according to criteria weighted by fuzzy PIPRECIA.

5. Acknowledge

The author has declared no conflicts of interest.

References

Blagojević, A., Stević, Ž., Marinković, D., Kasalica, S., & Rajilić, S. (2020). A novel entropy-fuzzy PIPRECIA-DEA model for safety evaluation of railway traffic. *Symmetry*, 12(9), 1479. doi: 10.3390/sym12091479

Boyacı, A. Ç., & Şişman, A. (2021). Pandemic hospital site selection: a GIS-based MCDM approach employing Pythagorean fuzzy sets. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13. doi: 10.1007/s11356-021-15703-7

Chen, C. R., Huang, C. C., & Tsuei, H. J. (2014). A hybrid MCDM model for improving GIS-based solar farms site selection. *International Journal of Photoenergy*, 2014. doi: 10.1155/2014/925370

Crespo, C., Ibarz, G., Sáenz, C., Gonzalez, P., & Roche, S. (2021). Study of Recycling Potential of FFP2 Face Masks and Characterization of the Plastic Mix-Material Obtained. A Way of Reducing Waste in Times of Covid-19. *Waste and Biomass Valorization*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01476-0>

Çakır, E. (2021). Küresel bulanık kümeler ile güvenilirlik analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(1), 230-239. doi: 10.21923/jesd.764492d

Çakır, E., Taş, M. A., & Ulukan, Z. Spherical bipolar fuzzy weighted multi-facility location modeling for mobile COVID-19 vaccination clinics. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-14. doi: 10.3233/JIFS-219189

Đalić, I., Stević, Ž., Karamasa, C., & Puška, A. (2020). A novel integrated fuzzy PIPRECIA–interval rough SAW model: Green supplier selection. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(1), 126-145. doi: 10.31181/dmame2003114d

Hanine, M., Boutkhoum, O., Tikniouine, A., & Agouti, T. (2016). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection. *SpringerPlus*, 5(1), 1-30. doi: 10.1186/s40064-016-2131-7

- Isalou, A. A., Zamani, V., Shahmoradi, B., & Alizadeh, H. (2013). Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP). *Environmental Earth Sciences*, 68(6), 1745-1755. doi: 10.1007/s12665-012-1865-y
- Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Cevik Onar, S., Yazdani, M., & Oztaysi, B. (2017). Intuitionistic fuzzy EDAS method: an application to solid waste disposal site selection. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(1), 1-12. doi: 10.3846/16486897.2017.1281139
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258. doi: 10.3846/jbem.2010.12
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). A novel VIKOR method using spherical fuzzy sets and its application to warehouse site selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 37(1), 1197-1211. doi: 10.3233/JIFS-182651
- Lin, M., Huang, C., & Xu, Z. (2020). MULTIMOORA based MCDM model for site selection of car sharing station under picture fuzzy environment. *Sustainable cities and society*, 53, 101873. doi: 10.1016/j.scs.2019.101873
- Liu, H. C., You, J. X., Fan, X. J., & Chen, Y. Z. (2014). Site selection in waste management by the VIKOR method using linguistic assessment. *Applied Soft Computing*, 21, 453-461. doi: 10.1016/j.asoc.2014.04.004
- Malemnganbi, R., & Shimray, B. A. (2020). Solar Power Plant Site Selection: A Systematic Literature Review on MCDM Techniques Used. *Electronic Systems and Intelligent Computing*, 37-48. doi: 10.1007/978-981-15-7031-5_5
- Mihajlović, J., Rajković, P., Petrović, G., & Ćirić, D. (2019). The selection of the logistics distribution center location based on MCDM methodology in southern and eastern region in Serbia. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(2), 72-85. doi: 10.31181/oresta190247m
- Moghaddas, N. H., & Namaghi, H. H. (2011). Hazardous waste landfill site selection in Khorasan Razavi province, northeastern Iran. *Arabian journal of geosciences*, 4(1), 103-113. doi: 10.1007/s12517-009-0083-8
- Rahimi, S., Hafezalkotob, A., Monavari, S. M., Hafezalkotob, A., & Rahimi, R. (2020). Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119186. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119186
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24, 544-556. doi: 10.1016/j.rser.2013.03.019
- Sangkham, S. (2020). Face mask and medical waste disposal during the novel COVID-19 pandemic in Asia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100052. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100052>
- Senvar, O., Otay, I., & Bolturk, E. (2016). Hospital site selection via hesitant fuzzy TOPSIS. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1140-1145. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.656
- Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377-403. doi: 10.1016/j.renene.2020.04.137
- Sharifi, M. A., & Retsios, V. (2004). Site selection for waste disposal through spatial multiple criteria decision analysis. *Journal of telecommunications and information technology*, 28-38.
- Sharma, H. B., Vanapalli, K. R., Cheela, V. S., Ranjan, V. P., Jaglan, A. K., Dubey, B., ... & Bhattacharya, J. (2020). Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105052. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105052
- Shereen, M. A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N., & Siddique, R. (2020). COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of advanced research*, 24, 91. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.03.005>
- Shi, Q., Ren, H., Ma, X., & Xiao, Y. (2019). Site selection of construction waste recycling plant. *Journal of cleaner production*, 227, 532-542. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.252
- South China Morning Post (SCMP) (2020). Coronavirus leaves China with mountains of medical waste. Accessed on: 10.07.2021. <https://www.scmp.com/news/china/society/article/3074722/coronavirus-leaves-china-mountains-medical-waste>
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of the pivot pairwise relative criteria importance assessment method for determining the weights of criteria. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20, 116-133.
- Stević, Ž., Stjepanović, Ž., Božičković, Z., Das, D. K., & Stanujkić, D. (2018). Assessment of conditions for implementing information technology in a warehouse system: A novel fuzzy piprecia method. *Symmetry*, 10(11), 586. doi: 10.3390/sym10110586
- Şener, Ş., Sener, E., & Karagüzel, R. (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 173(1), 533-554. doi: 10.1007/s10661-010-1403-x
- Taş, M. A. & Çakır, E., (2021). Green Supplier Selection Using Game Theory Based on Fuzzy SWARA. *Sakarya University Journal of Science (Preprint)*, 1-14. doi: 10.16984/aufenbilder.877919
- Tomašević, M., Lapuh, L., Stević, Ž., Stanujkić, D., & Karabašević, D. (2020). Evaluation of criteria for the implementation of high-performance computing (HPC) in Danube Region countries using fuzzy PIPRECIA method. *Sustainability*, 12(7), 3017. doi: 10.3390/su12073017
- Torkayesh, A. E., Zolfani, S. H., Kahvand, M., & Khazaelpour, P. (2021). Landfill location selection for healthcare waste of urban areas using hybrid BWM-grey MARCOS model based on GIS. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102712. doi: 10.1016/j.scs.2021.102712
- Tseng, M. L. (2011). Using a hybrid MCDM model to evaluate firm environmental knowledge management in uncertainty. *Applied Soft Computing*, 11(1), 1340-1352. doi: 10.1016/j.asoc.2010.04.006
- U. S. Food & Drug Administration (FDA) (2020). Q&A for Consumers | Hand Sanitizers and COVID-19. Accessed on: 15.07.2021. <https://www.fda.gov/drugs/information-drug-class/qa-consumers-hand-sanitizers-and-covid-19>
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., & Alimohammadi, A. (2009). Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives.

- Journal of environmental management, 90(10), 3048-3056.
doi: 10.1016/j.jenvman.2009.04.010
- Vesković, S., Milinković, S., Abramović, B., & Ljubaj, I. (2020). Determining criteria significance in selecting reach stackers by applying the fuzzy PIPRECIA method. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 72-88. doi: 10.31181/oresta2001072v
- World Health Organization (WHO) (2021). COVID-19 advice for the public: Getting vaccinated. Accessed on: 01.08.2021
- <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/covid-19-vaccines/advice>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
- Žak, J., & Węgliński, S. (2014). The selection of the logistics center location based on MCDM/A methodology. *Transportation Research Procedia*, 3, 555-564. doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.034



Farklı Pişirme Tekniklerinin Bazı Geleneksel Fırın Ürünlerinin Duyusal Kalitelerini Geliştirmede ve Besin Kayıplarını Azaltmada Kullanılabilirlikleri Üzerine Bir Araştırma

Hüsnü Kasar¹, Süleyman Gökmen^{2*}, Abdullah Çağlar³

¹Muş Alparslan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Aşçılık Programı, Muş, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4343-5229), h.kasar@alparslan.edu.tr

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Programı, Karaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7397-6966), sugokmen42@hotmail.com,

³Kocaeli Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9716-8795), abdullahcaglar@hotmail.com,

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.985359)

ATIF/REFERENCE: Kasar, H., Gokmen, S. & Çağlar, A. (2021). Farklı Pişirme Tekniklerinin Bazı Geleneksel Fırın Ürünlerinin Duyusal Kalitelerini Geliştirmede ve Besin Kayıplarını Azaltmada Kullanılabilirlikleri Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 70-74.

Öz

Bu çalışma, geleneksel fırın ürünlerinin farklı pişirme yöntemlerine uyarlanarak başta diyet uygulamaları gibi farklı kategorilerde yapılabilmesi için gerekli pişirmelerin kullanılabilirliklerinin araştırılmasını içermektedir. Türk mutfağında geleneksel ürünlerin mevcut pişirme uygulamalarının dışına çıkılarak yeni nesil pişirme yöntemleri ile ürünlerin besin değerlerinde farkın minimum seviyede tutulmasıyla dünya standartlarında uygulanabilir bir pişirme yapılması önemlidir. Bu amaçla bazı geleneksel fırın ürünleri (testi kebabı, fırın mantı, karnıyarık yemeği, İzmir köfte) çalışma kapsamında araştırılmıştır. Geleneksel pişirmeler sonucunda ürünlerde meydana gelen olumsuz durumların oluşmaması teknolojinin kullanılabilirliği açısından önem arz etmektedir. Yeni nesil pişirme yöntemleri ile ürünleri en kısa sürede hazırlamak ve bu ürünlerin aynı duysal ve besinsel kalitede olması önemli bir diğer husustur. Yapılan çalışmalarda geleneksel fırın ürünlerinin farklı şekilde işlenmesi, yeni nesil pişirme yöntemlerinin fırın ürünlerinde kullanımı konusunda eksiklikler bulunduğu belirlenmiştir. Araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre geleneksel fırın ürünlerinin novel metotlar ile pişirilmesinin ürünün duysal ve besin kaybı sonuçları olumlu etkiler göstereceği tahmin edilmektedir. Gıdaların yeni nesil pişirme yöntemleri ile pişirilmesinden olumlu sonuçlar alınması ile birlikte zengin mutfak kültürü yeni nesil pişirmeler ile daha farklı olacak ve bu farklı uygulamalarının dünya mutfağında da tanıtımının yapılması açısından başta gastronomi ve gıda alanları olmak üzere ülkemize de katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel Fırın Ürünleri, Yeni Nesil Pişirme Yöntemleri, Duyusal Kalite, Besin Kayıpları.

A Study on the Usability of Different Baking Techniques in Improving the Sensory Quality and Reducing Nutrient Loss of Some Traditional Bakery Products

Abstract

This study includes the investigation of the usability of the necessary cooking so that traditional bakery products can be adapted to different cooking methods and made in different categories such as diet applications. In Turkish cuisine, it is important to go beyond the current cooking practices of traditional products and to make an applicable cooking at world standards by keeping the difference in nutritional values of the products at a minimum level with new generation cooking methods. For this purpose, some traditional bakery products (testi kebab, oven-manti, karnıyarık dish, Izmir meatballs) were investigated within the scope of the study. It is important for the usability of technology that the negative situations that occur in the products as a result of traditional cooking do not occur. Another important issue is to prepare the products as soon as possible with the new generation cooking methods and to ensure that these products are of the same sensory and nutritional quality. In the studies, it has been determined that there are deficiencies in the different processing of traditional bakery products and the use of new generation cooking methods in bakery products. According to the results obtained from the researches, it is estimated that cooking traditional bakery products with novel methods will have positive effects on the sensory and nutrient loss results of the product. With positive results from cooking foods with new generation cooking methods, the rich culinary culture will be different with new generation cooking and this will contribute to our country, especially in the fields of gastronomy and food, in terms of promoting these different applications.

Keywords: Traditional Bakery Products, New Generation Cooking Methods, Sensory Quality, Nutrient Losses.

1. Giriş

Toplumların sahip olduğu kültürel kazanımlar, süregelen yaşam başta olmak üzere yeme-içme alanlarında da etkili olmaktadır (Kızıldemir, Öztürk, & Sarıışık, 2014, s. 192). Türk mutfak ve pişirme yöntemleri incelendiğinde, yemeklerin hazırlanması, tekniklerin oluşması vb. 10. ve 11. yy arasında Orta Asya dan başlayıp günümüze kadar gelen uzun ve zengin bir süreç gözlenmektedir (Girgin, Demir, & Çetinkaya, 2017, s. 220). Bu süreç içerisinde Asya ve Anadolu topraklarının sahip olduğu verimli topraklar, kültürel etkileşimler, Selçuklu ve Osmanlı saray mutfaklarındaki farklı lezzetlerin oluşması vb. birçok etken mutfak temellerinin, yemek kültürünün, yemeklerinin hazırlanması, yeni pişirme yöntemlerinin ortaya çıkması konusunda etken rol oynamaktadır (Güler, 2010, s. 24-25).

Geçmiş dönemlerde göçebe bir yaşam tarzı belirlenmesinden kaynaklı, pişirimi çok sık yapılan kırmızı et başta olmak üzere et ürünlerinin tüketimine kadar geçen sürede bozulmaların ortaya çıkmaması için konserve yöntemini çok eski dönemlerde öğrenmişlerdir. Bu yenilik geçmiş zamanlarda konserve et başta olmak üzere konserve ürünlerinin Çin başta olmak üzere diğer medeniyetlere ihracatının yapılmasında önemli bir kazanım sağlamıştır. Bu dönemlerde konserve yanı sıra kavurma, fermantasyon pişirme tekniklerini ve kurutma yöntemini kullanmışlardır (Demirgöl, 2018, s. 108). Geçmiş dönemlerde ateş üzerinde, kavurma, grilling vb. pişirme teknikleri bulunmakta iken günümüzde sous vide, asit reaksiyonu, mikrodalga fırın, anti gridle vb. pişirme teknikleri kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu kapsamda çalışmanın amacı, belirlenen fırın ürünlerin mevcut pişirmedeki sorunların yeni nesil farklı pişirme yöntemlerinin kullanımı ile geleneksel gıdaların eksiklerinin giderilmesi ve ürünlerden duyuşal, besinsel yönleri vb. konular da kullanılabilirliğinin araştırılması ve mutfak yeni metotların kullanılabilirliğinin belirlenmesidir.

Bu çalışmada öncelikle Türk mutfaklarının genel özellikleri ve kullanılan pişirme yöntemleriyle ilgili bilgi verilecektir.

Türk mutfak ortalama 2500 civarı yemek çeşidi ile zengin bir mutfak yapısına sahiptir (Kasar & Gökmen, 2021, s. 988). Gurme ve gastronomi dünyasının görüşüne göre Fransız, Çin, İtalyan vb. mutfaklar arasında 3. sırada olan zengin mutfak çeşitliliği pişirme yöntemlerinin de oluşmasında etken olmuştur (Ballı, 2013, s. 209). Pişirme yöntemleri ve yenilecek ürünler dini inanışlara göre de farklılık gösterebilmektedir (Karaca & Karacaoğlu, 2016, s. 565).

Türkler et yanı sıra sakatatları da tüketmişlerdir. Özellikle bu ürünleri tandır veya ateş üzerinde pişirmişlerdir. Ayrıca etler kuşbaşı- kıymalık doğranarak kavrulmuş ve kış için saklanmıştır (Demirgöl, 2018, s. 108). Et saklama yöntemi olarak da kullanılan güneş yardımıyla da kurutulmuştur. Uzun süreler muhafaza edilmesi için et tuzlanmıştır. Türklerde tuzlanmış ve kurutulmuş et çeşidi olan pastırmada bu yöntemle hazırlanmaktadır (Kılıç & Albayrak, 2012, s. 710).

Türk mutfakında bir diğer pişirme yöntemi de ateş üzerinde çevirerek pişirme ve kül içine gömme yöntemidir. Özellikle küçükbaş hayvanlar çevirme olarak da bilinen yanmakta olan ateş üzerinde kendi yağıyla 2-3 saat uzun süre pişirilen yöntemle pişirilmekte veya ateş yanması ve sönmesi ile oluşan kül içerisine kaplama ile gömme yöntemi yaygın kullanım arasında sayılmaktadır (Kılıç & Albayrak, 2012, s. 710).

Mutfak kültüründe bir diğer uygulanan yöntem ise tandır yöntemidir. Tandır genellikle kilden veya taştan yapılmıştır. Özellikle Selçuklular hayvanların sakatatlarını bu yöntem ile pişirmektedir (Demirgöl, 2018, s. 111). Tandır 60-80 cm derinliğine sahip bir çukur kazılması ile hazırlanmaktadır. Tandırın içi desti toprağı ile sıvanmaktaydı. Böylece hazırlanmış ve ısıtılmış olan tandırın kenarlarına muhtelif boyda ve kalınlıktaki hamurlar yapıştırılmak suretiyle ekme pişirilmekteydi. Orta Asya döneminden günümüze kadar bu yöntem ekmeğin, yufkaların pişirilmesinin yanı sıra aynı tandırın içine tencere sarkıtılmasıyla yemeklerin pişirilmesinde de kullanılmaktadır (Özgüdenli & Uzunağaç, 2014, s. 51). Ayrıca bu araştırmada Türk mutfakında kullanılabilecek pişirme yöntemleri aşağıda açıklanmaktadır.

Geçmiş dönemlerden beri süregelen yemeklerin hazırlanmasında kullanılan pişirme yöntemleri günümüzde yeni metotlar ile çeşitliliğini arttırmıştır. Yemeklerin lezzeti malzemeler kadar nasıl pişirildiği ile de doğrudan ilişkilidir. Bu kapsamda II. Mahmud 1837 yılında saray mutfakında yer alan Hüseyin isimli bir aşçıyı, batıda yemek pişirme yöntemlerini öğrenmesi için Viyanaya göndermiştir (Hatipoğlu & Batman, 2014, s. 69). Pişirme yöntemlerine verilen önem o dönemde günümüze kadar gelmiştir. Sadece pişirme usulünde lezzet değil sağlık da oldukça önemli bir konudur. Mutfak 'da özellikle metal kaplar, tencereler ısıyı eşit dağıtması sonucu yemeklerin eşit pişirilmesinden dolayı tercih edilmektedir. Metal olarak değerlendirilen bakır kap, tencere ise kalaylama vb. problemler sonucu sağlığa zarar verebilir düşüncesiyle kullanılmamıştır. Ancak sosların hazırlanmasında, tereyağı eritilmesi vb. işlemlerde kolaylık sağlanması sebebiyle tercih edilmiştir. (Ak, 2007, s. 21).

Mutfakta hazırlanan yemeklerde olduğu gibi pişirme yöntemleri de kültürel etkileşim parçaları arsındadır. Fransız mutfak başta olmak üzere diğer toplumlardan da pişirme yöntemleri alınmıştır (Seyitoğlu & Çalışkan, 2014, s. 25). Teknolojik gelişmelere de bağlı olarak birçok pişirme yöntemi geliştirilmiş veya oluşmuştur. Bunlar sous vide (vakum poşetli), anti gridle, mikrodalga fırın bazı örnekleri arasında gösterilebilmektedir.

Buharda pişirme yöntemi en sağlıklı pişirme yöntemleri arasında yer almaktadır. Steaming (Buharda pişirme yöntemi) çok eski zamanlardan beri Türk mutfakında kullanılmaktadır. Sebzeğin pişirilmesinin yanı sıra ekme pişirimi de bu yöntem ile hazırlanmaktadır. Çukmin adı verilen kurabiye şeklindeki ekme buharda pişirme yöntemiyle hazırlanan ekme çeşitlerine en iyi örnek oluşturabilmektedir (Demirgöl, 2018, s. 111).

Günümüzde bireyler, yemeğin orijinal lezzetini maksimum düzeyde koruyabilen, duyuşal özellikleri aynı kalan ya da artış gösteren sağlıklı ve besleyici pişirme yöntemlerine tercih etmektedirler (Yıldız & Yılmaz, 2020, s. 2319). Novel pişine tekniğı olan sous vide örneğinde, pişirme yöntemi hem yemeğin orijinal lezzetini koruması hem de sağlıklı bir pişirme tekniğı olmasından dolayı geleneksel tekniklere kıyasla çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntem ticari olarak 1970 yılında Fransa'da kullanmaya başlamış olup artık birçok ülkede pişirme avantajı sebebiyle kullanımı yaygınlaşmıştır. Sous vide, kontrollü sıcaklıklar altında belirli bir süre boyunca ısıya dayanıklı vakum paketler içerisinde pişirme olarak da tanımlanabilmektedir (Yıldız & Yılmaz, 2020, s. 2319).

Novel pişirme yöntemleri arasında anti gridle uygulaması da gösterilmektedir. Üzerine konulan ürünü kısa sürelerde dondurulması amacıyla kullanılmaktadır. Yüzeş sosları veya

püreleri anında dondurmaktadır. Ayrıca bu yöntem sadece ürünün dış yüzeyini dondurabilmektedir (Дегис, , 2020, s. 810).

Bu araştırmada mutfak alanında yeni nesil pişirme tekniklerinin sadece belli ürünlerdeki kullanımı dışına çıkılarak ürünün mevcut pişirilmesindeki olumsuzluklarında önlenmesi sağlanmasıyla yeni nesil pişirme tekniklerinden mutfakta kullanımı yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Aşağıda ürünlerin pişirme aşamasındaki eksikleri ve yeni pişirme yöntemleri ile alınacak çözümler ile giderilmesi konuları yer almaktadır.

1. Testi kebab

- Mevcut pişirme aşamasındaki pişirme eksiklikleri arasında üretim sırasında meşe kömürü çevresel zararlara sebep olmasının yanı sıra, insan sağlığı açısından polisiklik aromatik hidrokarbonlar kansere vb. sağlık açısından risklere neden olabilmektedir. Bu olumsuzlukların önlenmesi için Testi kebabının yapımı sırasında bu sorunu roasting, baking pişirme yöntemi ile önenebileceği öngörülmektedir.
- Testi kebabı kömürde pişirilmesi esnasında ısı kontrolü sağlanması sorunu roasting pişirme ile fırın ısı kontrol altına alınarak engellenebilir. Bu işlemi baking yöntemi ile de yapılacağı öngörülmektedir.
- Testi kebabının pişirme süresinin uzun olması bir problem teşkil etmektedir. Bu sebeple özellikle restoranlar da yemeğin hazırlanma süreleri uzun olması dolayısıyla müşterilerin uzun zaman beklemelerine neden olmasıyla yemeğin tercih edilirliliğinin düşürebilmektedir. Çalışma kapsamında yer alan farklı pişirme yöntemlerinden birisi olan Testi kebabı çevirme makinası ile sorun çözülebilir. Kullanılacak bu pişirme yöntemi ile birlikte testi kebabının uzun süre pişmesinden dolayı işletmelerin hazır yaparak sadece ısıtması problemleri ortadan kalkacak müşteriler daha güvenli testi kebabları yiyeceklerdir. Bu pişirme yöntemi ayrıca uzun süre pişmelerinde önüne geçebilecektir. Makinenin her katı ayrı zamanlarda konulan testilerden oluşacak yani saat 5 de makinanın 1. katına konulan testi 7 de hazır oluyorsa saat 5.30 makinanın 2. katına konulan testi 7.30 hazır olacak kısacası müşteriler her zaman taze, sıcak testi kebablarını yiyeceklerdir.
- Testi kebabının yapı itibari ile içerisi görülmemektedir. Böylelikle daha önceden yemeği pişirmede tecrübe, deneyimi olmayan kişilerin yemeği yapması sırasında az pişirme yâda çok pişirme gibi sorunlarla karşılaşabilmektedir. Bu problem testi kebabının yapısı bozulmadan iç kısmının görünebilir, şeffaf şekilde üretilmesi konusunun uygulamaları üzerinde çalışmalar yapılması gerekliliği bulunmaktadır. Testi vb. fonksiyonlarda kullanılan ürünlerin şeffaf yapıda üretilmesi halinde yemeğin pişirilme aşamaları gözlemlenebilecektir.

2. Fırın mantı

- Mevcut pişirme aşamasındaki pişirme eksiklikleri arasında üretim sırasında fırın mantı, şekil itibariyle üst tarafının açık olması sebebiyle konulan iç harçtaki kıymanın kurummasına sebep olmaktadır. Steaming yöntemi ile kurumalar önenebilir. Mevcut pişirmede de cırtlık en son sos dökülmesi ile büyük bir oranda yok

olmaktadır bu sebeple bu yöntemin kullanılması ile çok fazla bir kayıp yaşanmayacaktır.

- Fırın mantıda, mikrodalga fırında pişirme yöntemi ile de cırtlık yakalanabilir. Bu yöntemin kullanılması sonucunda da istenilen kalitede fırın mantılar hazırlanabilecektir.
- Pişirme işlemi sonrası tavuk veya et suyu ilavesi yapılan mantılara gereğinden fazla eklenmesi durumunda hamur olmakta ve gerektiğinden fazla yumuşamaktadır. Bu problemin oluştuğu zamanlarda tava kullanımı ile ocak üzerinde suyun çektilmesi ile fazla sos buharlaştırılabilir. Ayrıca sos mantı ile özdeşleşmesi daha fazla olacaktır.
- Fırın mantının üretiminde sos ilavesi sırasında iç kıymanın dışarıya çıkması, mantı hamurunda açılmaların meydana gelmesi gibi yemeğin kalitesini ve görüntüsünü olumsuz etkileyen sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunlar Shallow poaching yöntemle az miktar sıvı içerisinde kısık ateşte üzeri yağlı kâğıtla kaplı şekilde mantılar pişirilecek ve kuruma, sos ilavesi ile şeklinin bozulması, açılmaların meydana gelmesi vb. problemler büyük oranda engellenme amaçlı kullanımı incelenmelidir.
- Fırın mantılar sıcak servis edilmesi aşamalarında sorunlar bulunmaktadır. Ürünlerin uzun süre sabit sıcaklıklarda tutulması zordur. Ürün hamurlaşabilir, bekleme sırasında bakteri üretebilir. Bu sorunlar Slow Cooker pişirme yöntemi ile çözüm bulacaktır. Bu yöntem ile mantı az sosu ile beraber nemini koruyarak lezzetli mantılar yapılabilir. Ayrıca sıcak bekletme ayarı ile ısı kaybı olmadan sıcak bir şekilde mantılar bekletilebilecektir.
- Hızlı pişirmenin olması gerektiği zamanlarda bükülü mantılar frying yöntemi ile mantı kısa sürede kızartılarak daha sonra sos eşliğinde servis edilebilecektir.

3. Karnıyarık yemeği

- Mevcut pişirme aşamasındaki pişirme eksiklikleri arasında üretim sırasında patlıcanın alacalı soyulmadan kızartılması özellikle pişirme sırasında kabuğun kurummasına ve sadece iç kısmın yenilmesine dış kısmın kuruyarak, sertleşerek yenilememesine sebep olmaktadır. Bu olumsuz durumlarda yemeğin kalitesini düşürmektedir. Patlıcanın dış kısmının kurumalar meydana gelmesi, dış kısmın çok kızartılması vb. faktörlere çözüm olarak dış katmanı kurutmadan ön işlem uygulayıp daha sonra fırınlama işlemi yapılarak bu sorunun oluşması engelleneceği öngörülmektedir. Ön işlemler olarak boiling yöntemi tercih edilebilir. Bu yöntemle patlıcanın haşlanıp pane yapılıp kızartılması işlemleri mevcuttur. Boiling ile yeterli sürede patlıcan haşlanabilir. Daha sonra fırın işlemi ile yemek hazırlanabilir. Gıdalarda yüksek damak tadı kalitesi veren ve sadece tekrar ısıtma gereksinimi olan ürünler sunan bu yöntem ön pişirme-hazırlama, vakum altında paketleme, pastörizasyon, hızlı soğutma, soğuk depolama ve tüketmeden önce ısıtma işlemlerini kapsar (Çetinkaya, Bilgin, Ertan, & Bilgin, 2015, s. 36). Bu bilgiler ışığında patlıcan sous vide, boiling pişirme yöntemi ile bir ön işlem olarak kullanılabilir. Patlıcanlar ön işlem olarak kızartılarak daha sonra hazırlanan bir yemektir. Kızartma

işlemi sırasında yağ kullanımını azaltmak ve daha sağlıklı bir yemek hazırlamak için kızartma yerine boiling pişirme yöntemi tercih edilebilir. Boiling ile yeterli sürede patlıcan haşlanabilir. Daha sonra fırın işlemi ile yemek hazırlanabilir. Patlıcan su ile temas etmeden hazırlanması için vakum yardımı ile Sous Vide tekniği uygulanabilir. Moleküler gastronominin, gastronomi dünyasına kazandırdığı yeni pişirme tekniği olan 'sous vide' tekniği ile karnıyarık yemeği ön işlem uygulanmasından olumlu sonuçların alınması ile birlikte tüm dünyada kullanım alanı yaygınlaşan bu teknikle ilgili deneysel çalışmaların sayısının artmasına öncülük etmesi sağlanabileceği öngörülmektedir.

- b. Patlıcanın içinin boşluk oluşmaması konusunda önemli bir pişirme metodu olacaktır. Kızartma yerine uygulanacak boiling ön işlemi ile yağ da kızartılmaması sebebiyle diyet menülerine sağlıklı bir yemek olarak eklenebilecektir. Günümüzün ve geleceğin sorunu olarak görülen obez, polifalji vb. hastalıkların yemek tüketiminde öğünlerine bir alternatif olacaktır. Karnıyarık yemeğinde gözlemlenen bir diğer olumsuz durumda özellikle pişirme aşamasında iç harcın fırında pişmesi sırasında üst harç kızarıırken, alt harcında eşit şekilde kızarmalar olmamaktadır. Üst katmanda kullanılan ürünlerde kurumlar meydana gelebilmektedir. Bu sorunun oluşmasını engellemek için Braising yöntemi kullanılabilir. Karnıyarık yemeğinin iç harç ile pişirilmesi, yemeğin bu metotla hazırlanmasının lezzet açısından yararlı olacağı öngörülmektedir. Karnıyarık iç harcı hazırlandıktan sonra aynı harç içerisinde patlıcan pişirilebilir, daha sonra ortası açılan patlıcan doldurulur ve aynı tavada yeterli miktardaki sosu ile pişirilebilir. Böylelikle kızartma işlemi uygulanmadan yemek hazırlanabilir. Böylelikle fırında pişirilmesi sırasında oluşabilecek ısı kayıpları da önlenebilir. Besinsel kayıpların önlenmesi açısından farklı pişirme tekniklerinin gıda da herhangi duyuşsal, mikrobiyolojik vb. olumsuz parametreler minimize edilerek tercih edilirliliği sağlanacaktır.

4. İzmir köfte

Mevcut pişirme aşamasındaki pişirme eksiklikleri arasında üretim sırasında köftelerde kurumalar, dağılımlar, köftenin sosun içerisinde pişirmesi sırasında köftede yumuşamaların meydana gelmesi, köftenin fırında pişme sırasında eti çekerek küçülmesi vb. problemler yaşanmaktadır. Ayrıca içerisindeki patatesin ön işlemde geçerek kızartılması gibi ek bir pişirme gerektirmektedir. Bu sorunların ortadan kaldırılması için yeni nesil pişirmede kullanılan mikrodalgadan yararlanılabilir. İzmir köfte içerisindeki patateslerin kızartma işlemine gerek olmadan mikrodalga fırınlarda pişirilerek hem yağ kullanımı azaltılacak hem de kıyma kızartma, fırınlanma gibi ön işleme gerek olmadan hızlı bir şekilde hazırlanabilir. Bu pişirme yöntemi ile İzmir köftenin etinin kurumamasının ve etin kendisini çekerek küçülmesi sorunları en aza indirileceği tahmin edilmektedir.

2. Sonuç

Türk mutfak kültürü çok zengin ve çeşitli ürün yapısına sahiptir. Türk mutfak kültüründe yer alan fırın ürünlerinin üretiminde kaliteyi bozmakta olan bazı faktörler tespit edilmiştir. Ürünlerin daha iyi hazırlanması için yeni nesil pişirme yöntemleri

ile Türk mutfak kültüründeki yer alan fırın ürünlerinin eksiklikler giderileceği ve daha sonra geliştirilerek yeni nesil pişirme yöntemlerinin kullanılması hususunda çalışmaların yapılması ile mutfak kültürüne kazandırılacağı tahmin edilmektedir.

Geleneksel fırın ürünlerindeki meydana gelen eksiklikler gözlenmiş bu eksikliklerin engellenmesi ile daha kaliteli, tercih edilirliliği yüksek ürünlerin meydana getirilmesi yanı sıra ürünlerin yeni nesil pişirme ile farklı konumda kullanılması gerekmekte olduğu düşünülmektedir. Bunlardan başlıcaları günümüzün ve geleceğin sorunu olarak görülen obez, polifalji vb. hastalıkların yemeklerinde yağlı, kalorili vb. besinlerin tüketilmesi sınırlı tutulmaktadır. (Altunkaynak ve Özbek'e göre 2006); Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından en riskli 10 hastalıktan biri olarak kabul edilen obezitenin, yine aynı örgüt tarafından yürütülen son araştırmalarda kanserle yakın ilgisi olduğu da belirlenmiştir (Altunkaynak & Özbek , 2006, s. 138). İnsan sağlığını olumsuz etkileyen bu konularda ürünlerin pişirilmesinde farklı tekniklerin kullanılması ile aşırı yağ kullanımı gibi problemlere çözüm getirileceği öngörülmektedir. Araştırmalar kapsamında bu tarz ürünlerinde yer aldığı (Karnıyarık yemeği vb.) ürünlerin daha sağlıklı pişirilmesi ile öğünlerde hastalığı veya diyet yapan insanların da bu tarz ürünlerden farklı pişirme yöntemleri ile hazırlanması sonucu tüketiminin yapılması sağlanabilecektir. Bir başka ürün üzerindeki çalışmalar sonucu, Karnıyarık yemeğindeki yağ kullanımı olmadan ürün hazırlanabileceği tahmin edilmektedir. Ürünün ön işlemi sous vide pişirme yöntemi ile sağlanacak böylelikle ürünü yağda kızartma yerine farklı pişirme yöntemleri ile ön pişirme yapılarak ürünün yapısında aşırı yağ bulunması durumu azaltılabilir. Böylelikle farklı diyet vb. menülerde kullanımının sağlanmasıyla mutfak alanında bir ilk yapılabilecektir.

Dünya mutfaklarında özellikle globalleşen dünyada daha sık kullanılan yeni nesil pişirme yöntemleri, Türk mutfağındaki geleneksel yemeklerin üretiminde de kullanılarak kalite, tat, görünüm vb. faktörlerde olumlu sonuçlar alınabilir. Böylelikle geleneksel ürünlerde gerek yurt içi gerekse yurtdışında ürünlerin tanıtılması ve uygulanan yöntemlerin farkındalığının oluşması sağlanabilir.

Farklı pişirme yöntemlerinin mutfak alanında eğitim alan kişilere uygulanacak olan duyuşsal analizlerinin yapılarak tat, koku, aroma, vizkozite, sertlik vb. kalite derecelendirilmelerinin kontrol ürünleri ile yakın sonuçların alınabileceği tahmin edilmektedir. Bu çalışmaların aşıcılık alanında ve pişirme yöntemleri konularında bilgisi olan eğitim alan kişilere uygulanarak daha uygun sonuçların alınacağı düşünülmektedir.

Bir yerel mutfak kültürü olan testi kebabı bölgeye gelen yerli ve yabancı turistlerin bölge hakkında olumlu ve olumsuz fikirlerinin oluşmasında etkindir. Özellikle işletmeler geleneksel pişirme yöntemine ve içeriğine dikkat etmemektedir. Testi kebabının usulüne uygun olarak pişirilmediği, yemeğin önceden tencere veya tavada pişirilip testiye konulmuş olduğuna dair inanış ve şikayetler bulunmaktadır (Buyruk, İlhan, & Özen, 2017, s. 155). Bu sorunların çözümü için testi kebabı novel pişirme yöntemi ile hazırlanmak avantaj sağlaması öngörülmektedir. İzmir köfte üretiminde yaşanan olumsuzluklar mikrodalga fırın ile azaltılması ve tamamen önlenebileceği tahmin edilmektedir (Şengün, İçier, Turp, Arserim, & Kor, 2013, s. 29).

Ohmik pişirme ile köfteler üzerinde yaptıkları çalışmada geleneksel pişirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında ohmik pişirmenin sağladığı en büyük avantaj, daha düşük pişme kaybı

ve daha sulu et eldesi sağlamasıdır. Geleneksel fırınlar ile mikrodalga fırınlar arasındaki en önemli farklardan birisi, mikrodalga fırınların esmerleşme reaksiyonlarını uyarmamasıdır (Ağagündüz & Bilici, 2016, s. 291). Böylelikle mevcut pişirmedeki kuruma ve yanmalara karşıda daha tercih edilebilir bir yöntem olabilir.

Mikrodalga fırınlar, gerek toplu beslenme yapılan kurum ve kuruluşlarda gerekse ev ortamında besinlere ısı işlem uygulamaları amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar mikrodalga fırınlarda pişirilen ürünlerde besin güvenliğinin sağlandığı ve mikrodalga ile ısı işlemlerde besinin maruz kaldığı sıcaklık derecesinin geleneksel fırınlarda pişirme yöntemi ile karşılaştırıldığında daha düşük ve uygulama süresinin daha az olması nedeniyle besinlerde oluşabilecek kanserojenlerin oluşumunun daha düşük düzeylerde gerçekleştiği bildirilmektedir. Mikrodalga uygulamaları yaygın olarak kullanılmakta olup sağlık konusunda da geleneksel fırınlardan daha az kanserojen oluşturmaktadır. Bu nedenle mikrodalganın kullanılabilir bir potansiyele sahip olduğunun sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- Ağagündüz, D., & Bilici, S. (2016). Mikrodalga Fırınlarda Isıl İşlem Uygulamalarının Besin Değeri ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 44(3), 289-297.
- Ak, K. (2007). Osmanlı'Dan Günümüze Türk Yemek Kültüründe Seramik Yemek Kapları. 1-86. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Seramik Anasanat Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Altunkaynak, B. Z., & Özbek, E. (2006). Obezite: Nedenleri ve Tedavi Seçenekleri. *Van Tıp Dergisi*, 13(4), 138-142.
- Ballı, E. (2013). Gastronomi Turizmi Ve Adana Mutfak Kültürü. 206-218. I. Doğu Akdeniz Turizm Sempozyumu.
- Buyruk, L., İlhan, İ., & Özen, İ. A. (2017). Gastronomi Turizmi Ögesi Olarak Yozgat Testi Kebabı Ve Kapadokya Turizm Bölgesindeki Yiyecek İçecek İşletmelerinde Testi Kebabı Uygulamalarına Dair Eleştirel Bir Yaklaşım. *I. Uluslararası Bozok Sempozyumu* (s. 148-160). Yozgat: Bozok Üniversite Yayınları.
- Çetinkaya, S., Bilgin, Ş., Ertan, Ö. O., & Bilgin, F. (2015). Vakum Paketli Pişirme Yöntemi (Sous Vide) ve Gökkuşuğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792)'na Uygulanması. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 11(2), 35-44.
- Demirgöl, F. (2018). Çadırdan Saraya Türk Mutfağı. *Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 105-125.
- Girgin, G. K., Demir, Ö., & Çetinkaya, V. (2017). Dünyanın En İyi Mutfakları ve Türk Mutfağı. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 5(2), 219-229.
- Güler, S. (2010). Türk Mutfak Kültürü ve Yeme İçme Alışkanlıkları. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26, 24-30.
- Hatipoğlu, A., & Batman, O. (2014). Osmanlı Saray Mutfağı'na Ait Gastronomik Unsurların Günümüz Türk Mutfağı İle Kıyaslanması. *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, 11(2), 62-74.
- Karaca, O. B., & Karacaoğlu, S. (2016). Kültür, Din Ve Yemek Etkileşimi Çerçevesinde Arap Mutfağının Kavramsal Olarak İncelenmesi: Adana İli Örneği. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 561-584.
- Kasar, H., & Gökmen, S. (2021). Türk Mutfağının Gastronomi Eğitimi Almakta Olan Öğrenciler Tarafından Bilinme Ve Tadılma Durumunun İncelenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(77), 986-991.
- Kılıç, S., & Albayrak, A. (2012). İSLAMİYETTEN ÖNCE TÜRKLERDE YİYECEK VE İÇECEKLER. - *International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 7(2), 707-716.
- Kızıldemir, Ö., Öztürk, E., & Sarıışık, M. (2014). Türk Mutfak Kültürünün Tarihsel Gelişiminde Yaşanan Değişimler. *AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 191-210.
- Özgüdenli, O. G., & Uzunağaç, Ö. (2014). Selçuklu Anadolu'sunda Ekmek. *Marmara Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 43-72.
- Seyitoğlu, F., & Çalışkan, O. (2014). Turizm Literatüründe Türk Mutfağı Üzerine Yapılan Araştırmaların Değerlendirilmesi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 2(4), 23-35.
- Şengün, İ. Y., İçier, F., Turp, G. Y., Arserim, E. H., & Kor, G. (2013). Köfte Örneklerinin Farklı Son Sıcaklıklara Ohmik Yöntemle Pişirme Etkinliğinin İncelenmesi. *Akademik Gıda*, 11(1), 27-33.
- Yıldız, M., & Yılmaz, M. (2020). Türkçe Alanyazında Sous Vide Yöntemi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 8(3), 2318-2336.
- Дегис, E. (2020). Molecular Gastronomy. 808-810.



Çelik Bilyelerden Oluşturulmuş Spiral Paket Yataklarda Akış Rejimleri

Mustafa Yasin Gökaslan^{1*}, Mustafa Özdemir², Lütfullah Kuddusi³

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3859-8485), my.gokaslan@yyu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2255-8705), ozdemirmu4@itu.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1318-1851), kuddusi@itu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.986165)

ATIF/REFERENCE: Gökaslan, M.Y., Özdemir, M., & Kuddusi, L. (2021). Çelik Bilyelerden Oluşturulmuş Spiral Paket Yataklarda Akış Rejimleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 75-83.

Öz

Paket yataklarda ve eğrisel kanallarda basınç düşüşü ile ısı geçişi üzerine uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Kanala kavis verildiğinde veya kanal içerisine gözenekli ortam yerleştirildiğinde basınç düşüşü arttığı bilinmektedir. Kanalin hem eğrisel hem de gözenekli olma durumunda basınç düşüşünün nasıl etkilendiği yeni araştırma konularından biridir. Bu çalışmada, Arşimet spiral eğrilerinden oluşan spiral paket yataklarda basınç düşüşü deneysel olarak incelenmiştir. 2.00, 2.38 ve 3.17 mm çapında bilyelerden oluşturulan paket yatakların gözeneklilik değerleri sırasıyla %41.4, %41.4 ve %42.0 olup özgül yüzey alanları düşük bilye çapından yükseğe olacak şekilde 1759, 1475 ve 1095 m⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Akışkan olarak hava kullanılmış ve deneyler sürekli rejimde yapılmıştır. Her bir bilye çapına göre akış rejimleri belirlenmiş ve literatüre en yakın değerlerle kıyaslanarak spirallığın etkisi yorumlanmıştır. Her bir akış rejiminde geçirgenlik, Forchheimer katsayısı ve Ergün sabitlerine karşılık gelen katsayılar belirlenmiştir. Ayrıca bütün deney verileri için de bu değerler hesaplanmıştır. Geçirgenliğe göre hesaplanmış Reynolds sayısı ile sürtünme faktörü arasındaki ilişki verilmiştir. Literatürle karşılaştırıldığında, bu çalışmanın sonuçlarının, düz paket yataklardaki basınç düşüşü hakkındaki mevcut verilerin farklılığına katkıda bulunduğu görülmektedir. Ayrıca, akış rejimlerini belirlemek, ısı geçişi ve basınç düşüşünün daha iyi yorumlanmasına ve anlaşılmasına yardımcı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Hava akışı, Geçirgenlik, Akış rejimleri, Spiral paket yatak, Sürtünme faktörü.

Flow Regimes in Spiral Channel Packed with Steel Balls

Abstract

Studies have been carried out for many years on pressure drop and heat transfer in packed beds and curved channels. It is known that the pressure drop increases when the channel is curved or porous media is placed inside the channel. How the pressure drop is affected when the channel is both curved and porous is one of the new research topics. In this study, pressure drop in spiral packed beds is investigated experimentally. The porosity values of the packed beds formed from balls with 2.00, 2.38 and 3.17 mm diameters are 41.4%, 41.4% and 42.0%, respectively, and their specific surface areas are calculated as 1759, 1475 and 1095 m⁻¹ with a higher than low ball diameter. Experiments are carried out air flow at steady-state. Flow regimes are determined according to each ball diameter and the effect of spirality is interpreted by comparing with the literature. In each flow regime and all experimental data, permeability, Forchheimer coefficient and the coefficients corresponding to Ergün constants are determined. Compared to the literature, the results of this study appear to contribute to the variation of the available data on pressure drop in packed beds. In addition, determining flow regimes can help in better interpreting and understanding of heat transfer and pressure drop.

Keywords: Airflow, Permeability, Flow regime, Spiral packed bed, Friction factor.

* Sorumlu Yazar: my.gokaslan@yyu.edu.tr

1. Giriş

Gözenekli ortamdaki akış, jeotermal sistemler, petrol çıkarma, ısı değiştiricileri, ısıtma, iklimlendirme, soğutma tesisatlarında, elektronik cihazlarda, atık ısının geri kazanımında, filtreler ve kimyasal reaktörler gibi mühendislik uygulamalarında meydana gelir. Gözenekli ortamlar, birim hacim başına yüksek yüzey alanı sayesinde ısı geçişini iyileştirmektedir. Ayrıca gözenekli ortam, yapısına bağlı olarak akışı dağıtır ve karıştırır, böylece yüzeyden ısı geçişini arttırmaktadır. Fakat gözenekli ortamlarda basınç düşüşünde önemli ölçüde yüksektir. Yakın zamanda gözenekli ortam olarak metal köpüklerde kullanılmaya başlanmıştır.

Kanal içerisine bilyeleri yerleştirerek gözenekli ortam oluşturmak mümkündür. Bu konuda en temel çalışmalardan biri yapan Ergün ve Orning, farklı büyüklükteki kürelerden oluşan gözenekli ortamda farklı akışkanlar kullanarak basınç düşüşünü deneysel olarak araştırmışlardır [1]. Daha sonra, Ergün [2] deneysel verilerini genişleterek paket yataklarda en sık kullanılan denklem ve katsayıları belirlemiştir. Bu denklem, gözeneklilik ve partikül çapına bağlı olarak paket yataklardaki basınç düşüşünü göstermektedir. Daha sonra farklı yazarlar tarafından paket yatak içerisindeki partikül çapı ve malzemesi değiştirilerek, silindirik, halkasal ve kabaca küresel malzemeler yerleştirilerek basınç düşüşü çalışmalarına devam edilmiştir. Akışkanın paket yatak içerisinde salınımlı ya da darbeli hareketinin de basınç düşüşü üzerine etkilerini incelemeye başlanmıştır. Gökaslan vd. yaptıkları çalışmada paket yatağın spiral olma durumunda basınç düşüşüne etkisini incelemişlerdir. Ergün sabitlerinin spiral paket yataklar için kullanımının uygun olmadığı ifade etmişler ve bu katsayıları spiral paket yatak için deneysel verilerden hesaplamışlardır. Ayrıca boyutsuz bir sayı tanımlayarak kavis oranının basınç düşüşüne etkisini de belirlemişlerdir [3]. Norouzi vd. [4], hava ve argonun ekstenel-yatay akışı üzerinde, farklı tane boyutlarına sahip 5 farklı paketlenmiş granüler aktif karbon (GAC) yatağı üzerinden deneysel bir araştırma yapmışlardır. Sürtünme faktörünü, Reynolds sayısına bağlı olarak sunmuşlardır.

Gözenekli ortamdaki akış rejimlerini basınç düşüşünü verilerinden belirlemek mümkündür. Akış rejiminin ısı geçişi ve basınç düşüşü üzerine etkisi mevcuttur. Bağcı vd. 1 ve 3 mm çaplı paketlenmiş çelik bilyelerden oluşturulan gözenekli ortamda basınç düşüşünü deneysel olarak incelemişlerdir. Akışkan olarak su kullandıkları deneylerde Darcy öncesi rejimi de dahil olmak üzere türbülanslı bölgeye kadar akış rejimlerinin aralıklarını belirlemişlerdir. Ergun denkleminin katsayılarında ve Kozeny-Carman sabitinde sapmaların mevcut olduğunu ifade etmişler ve her bir rejim için bu sabitleri hesaplamışlardır. Yine her bir rejim için farklı geçirgenlik ve Forchheimer katsayısının olduğunu saptamışlardır [5]. Bağcı vd. [6] yaptıkları diğer bir çalışmada ise sadece 3 mm çapında çelik bilyelerden oluşturdukları gözenekli ortamda basınç düşüşünü deneysel olarak incelemişlerdir. İndirgenmiş basınç düşüşü değerlerini hesaplamışlar ve bu değerlerden akış rejimlerini belirlemişlerdir. Deneylerini geniş bir Reynolds sayısı aralığında yaparak Darcy öncesi, Darcy, Forchheimer ve Türbülans akış rejimlerini belirlemişlerdir. Her bir akış rejimi için geçirgenlik ve Forchheimer katsayılarını belirlemişlerdir. Kececioğlu ve Jiang [7] rastgele paketlenmiş küresel boncuklardan oluşan bir yataktan su akışı sırasında akış rejimlerini belirlemek için deneysel çalışmışlar ve geçirgenliğe

göre hesaplanmış Reynolds sayısına bağlı olarak akış bölgelerini belirlemişlerdir. Seguin vd. kararsız rejimlerin başlangıcının doğru bir şekilde belirlenmesini sağlayan sinyal dalgalanmasının spektral analiziyle birlikte sınırlı akım yoğunluğunun yerel anlık ölçümlerini sunmuşlardır. Çalışmalarındaki gözenekli ortam, iki tür paketlenmiş küre yatağından, akış yönlerine farklı yönelimli plakalardan ve kafesli ortamdaki oluşuyordu. Paket yatakların yapısının hidrodinamik üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir [8].

Gökaslan vd. [9] içerisinde 3.17 mm çapında bilyelerden oluşturdukları spiral paket yatağa basınç düşüşünü deneysel olarak incelemişler. Çok dar bir hız aralığında yaptıkları deneylerde akış rejimini Forchheimer olarak belirlemişlerdir. Bu çalışma da deney verileri genişletilmiş mevcut bilyede hızı daha geniş aralıklarda ve farklı bilye çapları (2.00 ve 2.38 mm) da kullanılarak basınç düşüşü ve akış rejimleri incelenmiştir. İndirgenmiş basınç düşüşü ile geçirgenliğe göre hesaplanmış Reynolds sayısı arasındaki ilişkisinden rejim aralıkları belirlenmiştir. Her bir rejim için geçirgenlik, Forchheimer katsayısı ve Ergün sabitlerine karşılık gelen katsayılar belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar sanayi de çok kullanılan spiral levhalı ısı değiştiricilerinin içerisinde gözenekli ortam olma durumunda basınç düşüşünün nasıl etkileneceğini anlamak konusunda ışık tutacak ve en uygun spiral paket yataklı ısı değiştiricisi tasarımı sağlamada faydalı olacaktır. Ayrıca, akış rejimlerini ve sınırlarını anlamak, gözenekli ortam akışlarının modellenmesine doğrudan yardımcı olabilir ve ısı geçişi ile basınç düşüşünün yorumlanıp daha iyi anlaşılmasına sağlayabilir.

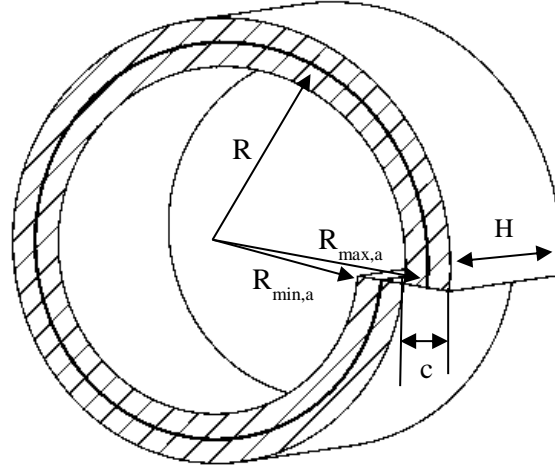
2. Deneysel Teslatı

Şekil 1'de spiral kanala (akışkan kanalına) ait şematik çizim gösterilmiştir. Akışkan olarak havanın geçtiği spiral kanal iç içe geçmiş başlangıç yarıçapları farklı 2 adet Arşimet spiral eğrisinden oluşmaktadır. Sabit hatve olduğu durumlarda, Arşimet spiral eğrisinin yarıçapı açıyla (φ) lineer değişmektedir. Akışkan kanalını içten ve dıştan saran spiral yalıtım kanalı mevcuttur. Spiral kanalın hatvesi akışkan kanalının genişliği (a), yalıtım kanalının genişliği (b) ve bakır rulo plakanın et kalınlıklarının (t) toplamına ($c = a + b + 2t$) eşittir. Ortalama spiral kanalın uzunluğunu veren ifade aşağıda gösterildiği gibi

$$L_{s,a}(\varphi) = \int_0^{2\pi} R(\varphi) d\varphi = 2\pi(R_{min,a} + \frac{c}{2}) \quad (1)$$

hesaplamak mümkündür. Burada, $R(\varphi)$ spiralin herhangi bir açıdaki yarıçapı, $R_{min,a}$ spiralin en düşük ortalama yarıçapını, c spiralin hatvesini ifade etmektedir. Akışkan kanalının giriş ve çıkışına kolektörler tasarlanarak akışkanın kanal içerisine dağıtılması ve toplanması sağlanmış ve deney odası oluşturulmuştur. Deney odasında tasarlanan akışkan kanalı 1 (2π) turdan, yalıtım kanalı ise 2 (4π) turdan oluşmaktadır.

Akışkan kanalın yarıçapı başlangıçtan itibaren açıya bağlı değişmektedir. Spiral kanalın ortalama eğrilik yarıçapı belirlenmek istenirse, spiral kanalın başlangıç ve bitişindeki ortalama yarıçaplarının aritmetik ortalamasına eşittir [3]. Akışkan kanal genişliği (a) 10 mm ve yüksekliği (H) 240 mm'dir. Spiral kanalın ortalama uzunluğu ($L_{s,a}$) 750 mm'dir. Deney odasına ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Spiral kanal geometrisi

Deney odasının yan yüzeyleri 0.2 mm kalınlığında çok ince bakır rulo levhadan üretilirken alt ve üst kapakları ise 1 mm kalınlığında bakır levhadan üretilmiştir.

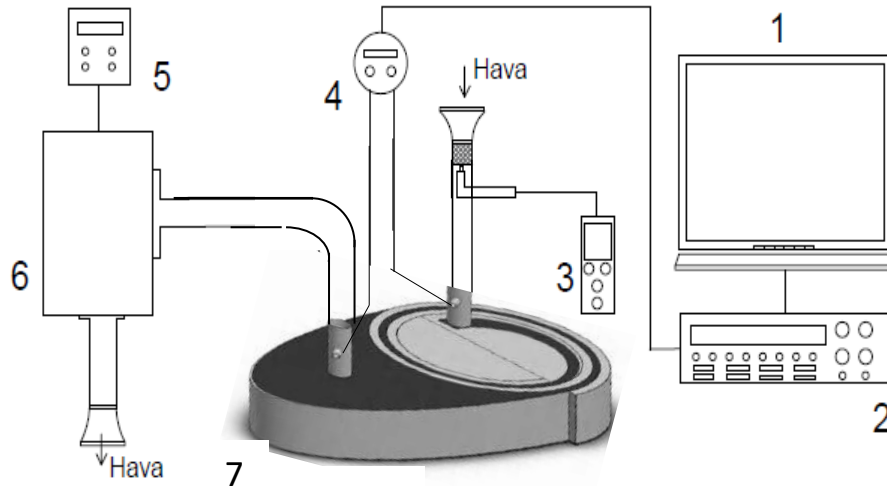
Tablo 1. Deney odasının geometrik bilgileri

Spiralin ortalama başlangıç yarıçapı ($R_{min,a}$) [mm]	105
Spiralin ortalama bitiş yarıçapı ($R_{max,a}$) [mm]	135
Ortalama eğrilik yarıçapı (R_a) [mm]	120
Akışkan kanal genişliği (a) [mm]	10
Yalıtım kanal genişliği (b) [mm]	18
Bakır plaka kalınlığı (s) [mm]	0.2
Spiral hatvesi (c) [mm]	28.4
Ortalama spiral kanalın uzunluğu ($L_{s,a}$) [mm]	750
Spiral kanalın yüksekliği (H) [mm]	240
Spiral kanal hidrolik çapı (d_h) [mm]	19.2

Bakır rulo levhaya spiral şekli verildikten sonra alt ve üst kapakları yerleştirilmiştir. Alt ve üst kapakları epoksi yapıştırıcılarla bakır rulo levhaya yapıştırılmış ve deney odası oluşturulmuştur. Daha sonra hem alt kapağa hem de üst kapağa hava sızdırmazlığını sağlamak üzere yüksek sıcaklığa dayanıklı

silikon uygulanmıştır. Giriş ve çıkış kolektörlerine pleksiglas borular bağlanarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Giriş pleksiglas borusuna akış düzleştirme bölümü, çıkış pleksiglas borusuna da hava emiş ünitesi bağlanmıştır.

Şekil 2’de deney düzeneğinin şematik çizimi görülmektedir. Emiş fanı (blower) ile emilen hava deney odasına 40 mm çapında pleksiglas borudan geçerek giriş yapmaktadır. Pleksiglas borunun hemen girişinde 5 cm uzunluğunda altıgen akış düzleştirici bulunmaktadır. Akış düzleştiricisinden hemen sonra havanın ortalama hızı (u_m) Testo 425 sıcak-küre sayesinde ölçülmüştür. Hava hızları belirli bir süre kaydedilmiş ve bu kaydedilen verilerin ortalaması alınarak ortalama hava hızı hesaplanmıştır. Çok düşük hızlarda hızölçerin belirsizliğinden kaynaklı yüzdesel hata arttığı için ECA G-4 model doğalgaz sayacı kullanılmıştır. Doğalgaz sayacına IN-Z61 tipi sinyal verici bağlanarak, doğalgaz sayacından elde edilen verilerin Keithley (2700) tarafından bilgisayara (1) aktarılması sağlanmıştır. Bu sinyal verici, test odasından her 10 litre hava geçtiğinde bilgisayara bir sinyal gönderir. Hava debisi, iki sinyal arasında geçen süre belirlenerek hesaplanmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneği: 1. Bilgisayar, 2. Veri toplama cihazı, 3. Hızölçer, 4. Fark basınçölçer, 5. Frekans kontrol cihazı, 6. Emiş fanı, 7. Deney odası.

Pleksiglas borudan geçen hava deney odasının giriş kolektörüne gelmektedir. Eğrisel kanallı giriş kolektöründen ilerleyen hava siyah boyalı yolu izleyerek spiral kanalda bir tur (2π) döndükten sonra çıkış kolektörüne gelmektedir. Buradan hava çıkış pleksiglas borusundan geçerek emiş fanı sayesinde ortama atılmaktadır. Spiral kanalın başladığı (giriş) ve son bulunduğu (çıkış) kesitlere paslanmaz çelik tel örgü konulmuştur. Bu sayede, kanal içerisine yerleştirilen çelik bilyelerin kanalda kalması sağlanmaktadır. Giriş ve çıkış pleksiglas borusunda basınç prizleri bulunmaktadır. Bu basınç prizleri sayesinde spiral kanalın giriş ve çıkışından fark basıncı (ΔP) DPT7000-R8 model fark basınçölçer ile ölçülmüştür. Fark basınçölçerlerden elde edilen veriler Keithley 2700 veri toplama cihazı (2) sayesinde bilgisayara (1) aktarılmaktadır. Hava emiş fanı motorunun frekansı, Siemens marka sürücü ile değiştirilerek farklı hava debileri sağlanmaktadır. Deneyler sürekli rejimde yapılmıştır.

Gözenekli ortam, spiral kanala $d=2.00$, $d=2.38$ ve $d=3.17$ mm çapında çelik bilyeler rastgele yerleştirilerek oluşturulmuştur. Bilyeler bölgesel geniş boşluklar kalmayacak şekilde spiral kanala doldurulmuştur. Gözeneklilik değeri bilye çapının küçükten büyüğe doğru %41.4, %41.4 ve %42.0 ölçülmüştür. 2.00, 2.38 ve 3.17 mm çapında bilyeler için özgül yüzey alanları sırasıyla 1759, 1475 ve 1095 m^{-1} hesaplanmıştır.

Belirsizlik Analizi

Deney verilerindeki belirsizlik, doğrudan ölçülen ve hesaplama ile elde edilen değerlerdeki hata tanımlanarak belirlenir. Bilye çapı, hız, basınç düşüşü birincil ölçümlerdeki ana hata kaynakları olarak değerlendirilir. Birincil hata kaynakları kullanarak hesaplanan parametrelerdeki belirsizlik analizi ise Figliola ve Beasley tarafından tarif edilen metoda göre Eşitlik (2)'de belirlenmiştir [10].

$$\frac{\delta_{\Delta P/Lu}}{\Delta P/Lu} = \pm \sqrt{\left(\frac{\delta_{\Delta P}}{\Delta P}\right)^2 + \left(\frac{\delta_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\delta_u}{u}\right)^2} \quad (2)$$

Burada Testo 425 hızölçer cihazının belirsizliği (0,03+%5xölçülen değer) ve kullanılan DPT7000-R8 model fark basınçölçerinin belirsizliği ise basınç değeri 125 Pa üzerinde

ölçülen değerlerin %1.5'i ve sabit ± 1 Pa olarak verilmiştir. Gözenekli ortamı oluşturmak için kullanılan bilyelerin çapı dijital mikrometre ile ölçülmüştür. 2.00, 2.38 ve 3.17 mm çapında bilyelerin çapının ölçülmesindeki belirsizlik sırasıyla 0.22, 0.14 ve 0.08% olarak hesaplanmıştır. Her üç çapta ölçülen basınç düşüşü değerlerinden hesaplanan belirsizlikler 1.51 ile 4.2% olarak hesaplanmıştır. Ölçülen hız değerlerindeki belirsizlik ise 6.3 ile 13.9% arasında değişmektedir. Hesaplanan parametrelerden indirgenmiş basınç düşüşündeki ($\Delta P/Lu$) belirsizlik ise 4.5 ile 6.8% arasında değişmektedir.

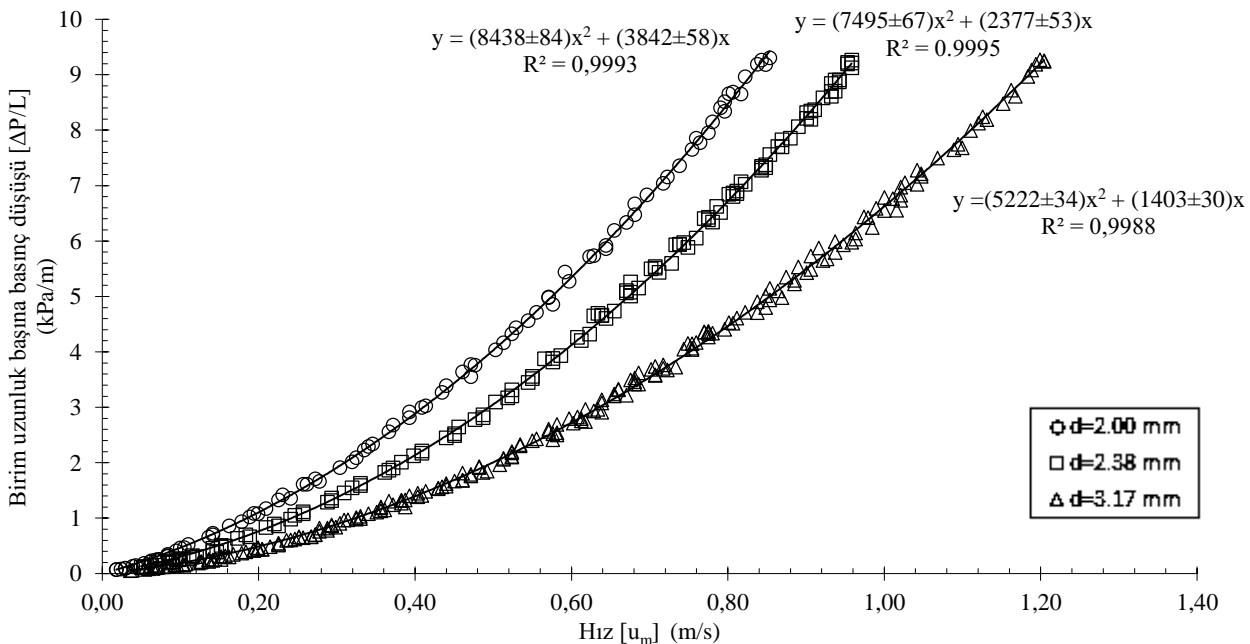
3. Deneysel Sonuçları

Ergün farklı çaplarda küreler, kum ve ufalanmış kok kömüründen (pulverized coke) oluşan paket yataklardan Reynolds sayısı 100'e kadar deneysel olarak farklı gaz akışını incelemiştir [1,2]. Deneysinde gaz akışı olarak hava, karbondioksit, nitrojen, hidrojen ve su kullanmıştır. Burke-Plumber ve Morcom'un önceki deneysel çalışmalarını ekleyerek Reynolds sayısı 1800'e kadar geçerli bir basınç düşüşü korelasyonu Eşitlik (3) önermiştir [2].

$$\frac{\Delta P}{L} = A_E \frac{(1 - \varepsilon)^2 \mu u_m}{\varepsilon^3 d^2} + B_E \frac{(1 - \varepsilon) \rho u_m^2}{\varepsilon^3 d} \quad (3)$$

Burada, ε gözeneklilik, d bilye çapı, u_m ortalama hızı, ρ havanın yoğunluğunu, μ havanın viskozitesini ve $A_E - B_E$ ise Ergün sabitlerini ifade etmektedir. A_E ve B_E katsayıları deneysel verilerden elde edilmektedir. Ergün bu katsayıları $A_E=150$ ve $B_E=1.75$ olarak belirlemiştir. A_E ve B_E katsayılarının evrensel olduğu düşünülüyordu; ancak sonraki deneyler bunun doğru olmadığını kanıtladı. Avontuur ve Geldart [11], $A_E=141$ ve $B_E=1.52$ kullanmayı önerdiler. Özahi vd. bu katsayıları $A_E=160$ ve $B_E = 1.61$ olarak sunmuşlardır [12]. Hatta McDonald vd. Eşitlik (4)'te sunulan basınç düşüşü ilişkisinde ε^3 'ün yerine $\varepsilon^{3.6}$ kullanılmasının daha uygun olduğu ve $A_E=180$ ve $B_E=1.8$ kullanılmasını tavsiye etmiştir [13].

Düz paket yataklar için Ergün [2] ve spiral paket yataklar için ise Gökaslan vd. [3,9] birim uzunluk başına düşen basınç düşüşünün hızla ikinci dereceden polinomla ilişkili olduğunu göstermişlerdir



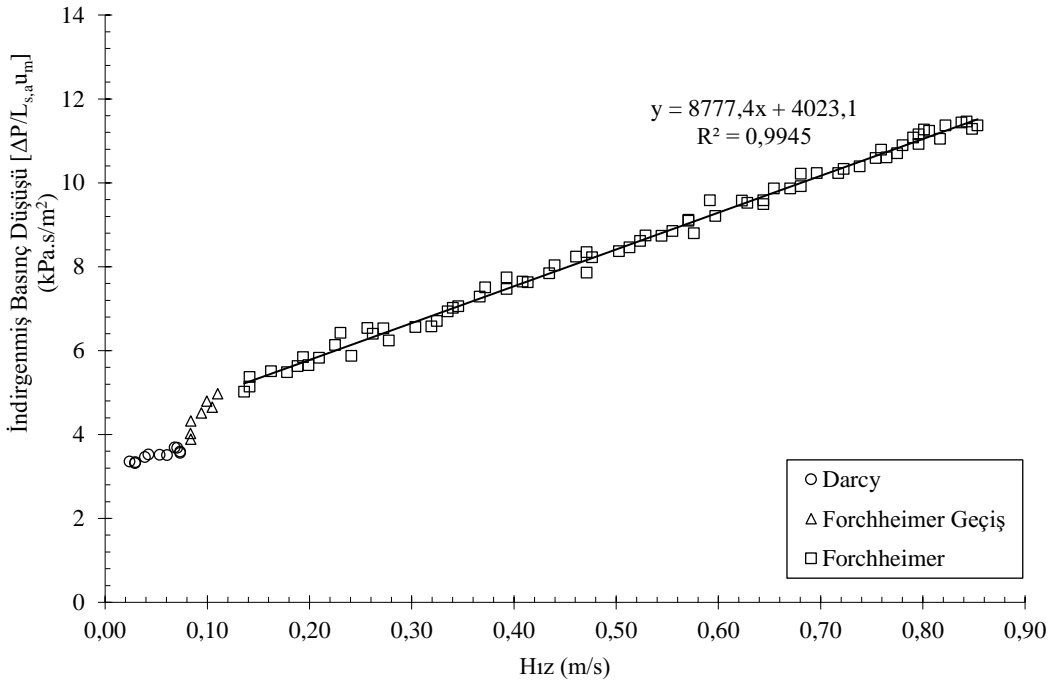
Şekil 3. Birim uzunluk başına basınç düşüşünün hızla ilişkisi

Şekil 3'te birim uzunluk başına düşen basınç düşüşü ile hız arasındaki ilişki verilmiştir. 2 mm çapında bilye için 93, 2.38 mm çapında bilye için 134, 3.17 mm çapında bilye için 226 adet toplamda 453 adet deney verisi mevcuttur. Spiral kanal içinde aynı hız değerinde bilye çapı azaldıkça basınç düşüşü değeri artmaktadır. Her üç bilye çapının gözeneklilik değeri hemen hemen aynıken spiral paket yatak içerisinde basınç düşüşleri farklıdır. Bunun sebebi paket yatakların özgül yüzey alanlarının eşit olmamasından kaynaklanmaktadır. Paket yatak içerisindeki özgül yüzey alanı arttıkça basınç düşüşü de artmaktadır. Deney verilerine uydurulan eğrinin R² değeri bire çok yakın olup bu durumun uydurulan eğrinin deney verileri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Şekil 3'de verilen birim uzunluk başına basınç düşüşünün akış rejimlerinin sınırlarının belirlenmesine elverişli değildir. Daha uygun bir format, doğrusallık ve eğimdeki

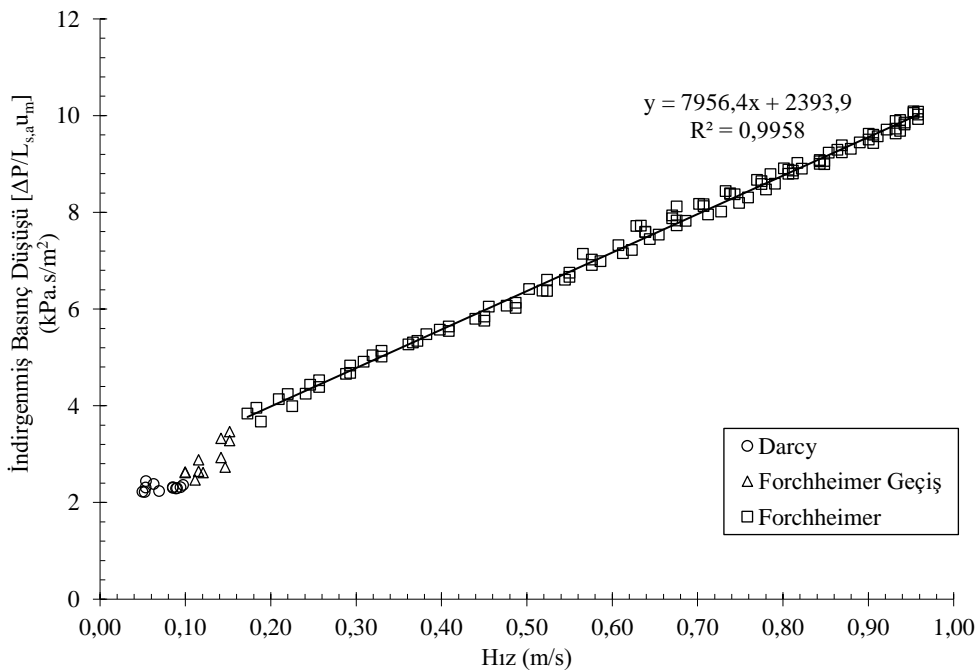
değişiklikleri sergileyen şekilde Eşitlik (4)'ün her iki tarafını hızı (u_m) bölündüğünde aşağıda gösterildiği gibi

$$\frac{\Delta P}{L_{s,a} u_m} = A_E \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu}{d^2} + B_E \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{\rho u_m}{d} = \frac{\mu}{K} + \frac{\rho F u_m}{\sqrt{K}} \quad (4)$$

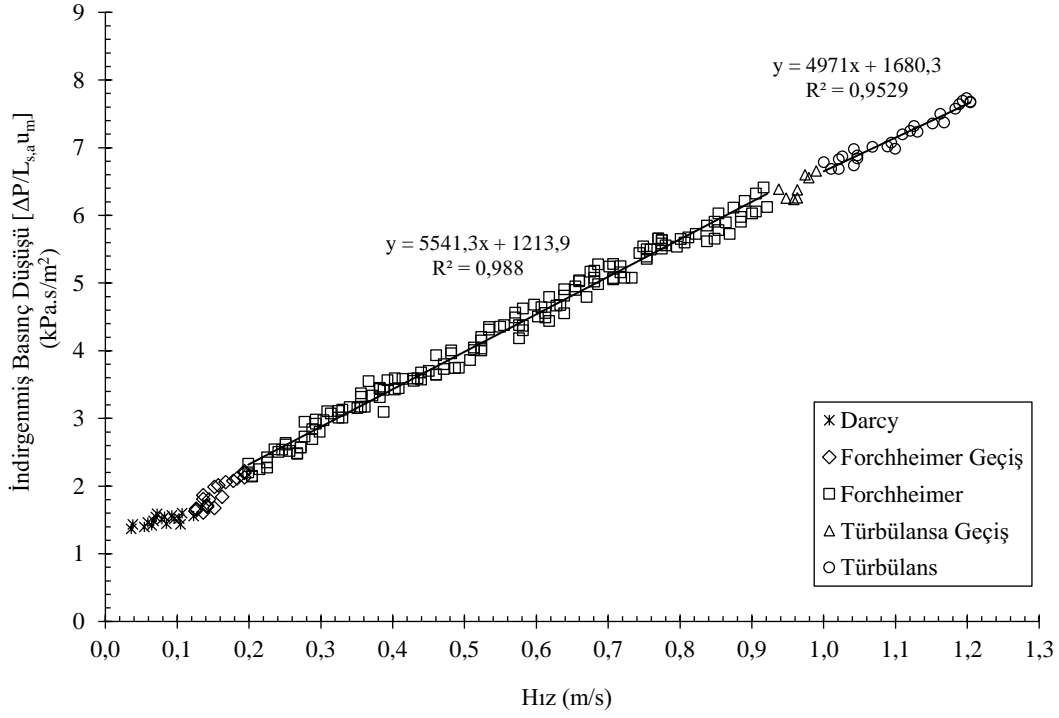
indirgenmiş basınç düşüşü denklemi elde edilir. Eşitlik (4)'te geçirgenlik ve Forchheimer (form ve atalet sürüklenme katsayısı) katsayısına göre de indirgenmiş basınç düşüşü ifadesi sunulmuştur. Burada, K geçirgenlik, F şekil sürüklenme katsayısını ifade etmektedir. Eşitlik (4)'te K, geçirgenliği F ise Forchheimer katsayısını ifade etmektedir. 2.00, 2.38 ve 3.17 mm bilye çapları için indirgenmiş basınç düşüşü ile hız arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir.



a)



b)



Şekil 4. a) 2.00 ve b) 2.38 c) 3.17 mm çapında bilye için indirgenmiş basınç düşüşü ile ortalama hız arasındaki ilişki

Çok düşük hızlarda indirgenmiş basınç düşüşü sabit değerlerde ve hızdan bağımsızken, hız arttıkça indirgenmiş basınç düşüşü hızla lineer artmaktadır. Düşük hızlarda (creeping flow), basınç düşüşü yalnızca viskoz sürüklenmeden kaynaklanır. Atalet kuvvetlerinin etkisi görülmemektedir. Darcy yasasına göre bu sürüklenme tipik olarak, gözenekli ortamın iç morfolojisi ile güçlü bir şekilde ilişkili olan geçirgenlikle ilgilidir [6]. Darcy yasasını aşağıda gösterildiği gibi,

$$\frac{\Delta P}{L u_m} = \frac{\mu}{K} \quad (5)$$

ifade etmek mümkündür. Eşitlik (5)'te görüldüğü üzere indirgenmiş basınç düşüşü hızla değişmemektedir. Daha yüksek akış hızlarında, akış enerjisi kaybı viskoz ve form (atalet) sürüklenmelerinin toplamı haline gelmektedir. Sınır tabakaları, gözenekli ortam içinde katı sınırların yakınında gelişmeye başlar ve belirgin hale gelirler. Bununla birlikte, akış laminerdir. Forchheimer bölgesinde, atalet kuvvetleri de eklenerek Eşitlik (6) elde edilir.

$$\frac{\Delta P}{L u_m} = \frac{\mu}{K} + \frac{\rho F}{\sqrt{K}} u_m \quad (6)$$

Hem Darcy hem de Forchheimer rejimlerinin laminer bölgededir. Hız daha da arttıkça, laminer akış rejimi kademeli olarak, oldukça kaotik ve kararsız olan türbülanslı akış rejimine geçer [5]. Bilye çapının 2.00 mm olduğu paket yatakta, hızın yaklaşık 0.08 m/s olduğu duruma kadar indirgenmiş basınç düşüşü hızdan bağımsız ve sabittir. Bu bölge akış Darcy bölgesindedir. Hızın 0.08 m/s ile 0.12 m/s olduğu durumlarda indirgenmiş basınç düşüşü değeri

artmakta ve akış Forchheimer geçiş bölgesindedir. Hava hızının 0.14 m/s'den daha yüksek değerler akış Forchheimer bölgesinde olduğu görülmektedir. Bu bilye çapında türbülans akış rejimi görülmemiştir. Bilye çapının 2.38 mm olduğu durumda hızın 0.09 m/s'ye kadar akış rejimi Darcy bölgesindedir. 0.11 ile 0.15 m/s hava hızında akış Forchheimer geçiş bölgesindedir. 0.17 m/s'den daha yüksek hızlarda akış Forchheimer bölgesindedir. Bu bilye çapında da türbülans bölgesi görülmemiştir. Bilye çapının 3.17 mm olduğu paket yatakta ise hızın 0.10 m/s olduğu duruma kadar indirgenmiş basınç düşüşü sabittir ve akış Darcy rejimindedir. Hız arttığında 0.20 m/s olana kadar akış form sürüklenmeleri de ortaya çıkmakta ve Forchheimer bölgesine geçiş bölgesindedir. Hızın 0.92 m/s olduğu duruma kadar akış Forchheimer bölgesinde ve bu hız değerinden daha yüksek değerlerde akışta çalkantılar başlar ve türbülanslı bölge geçiş başlar. 0.94 ile 0.99 hava hızı aralığında akış türbülansa geçiş bölgesinde olup bu değerden sonra türbülans rejimine geçmektedir.

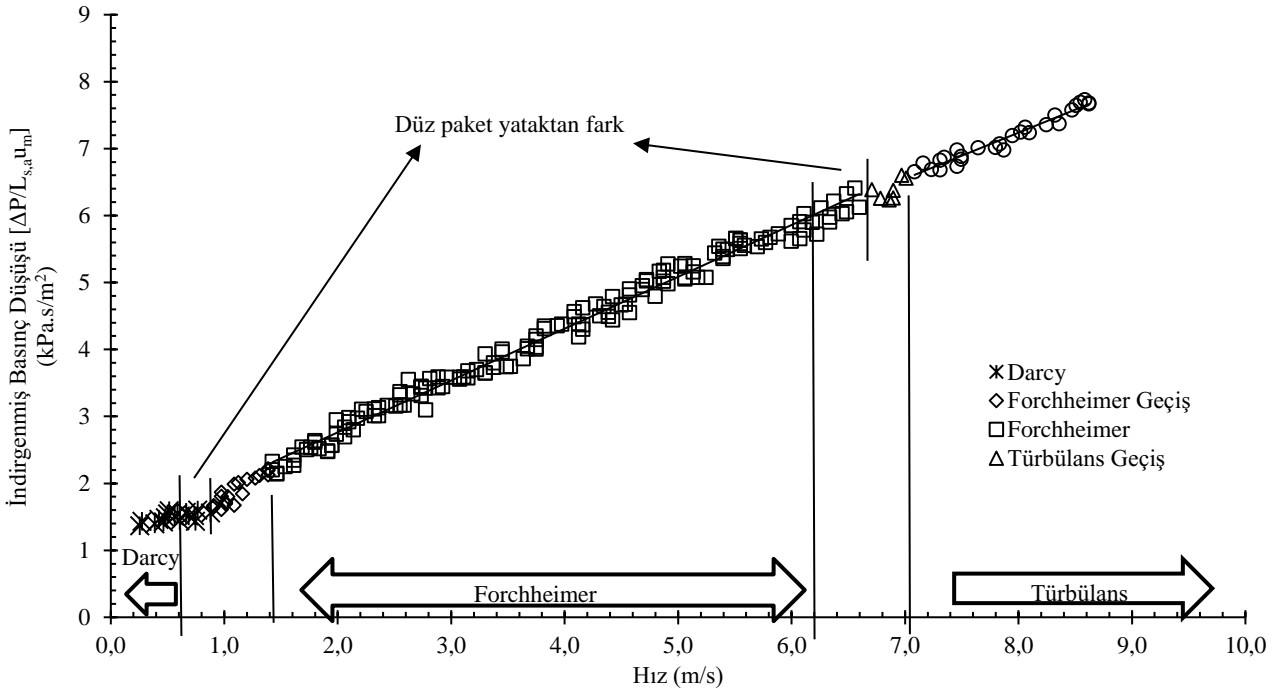
Şekil 4'te, her üç bilye çapı içinde görülen akış rejimleri için ayrı ayrı geçirgenlik ve Forchheimer katsayılarını hesaplamak mümkündür. Ayrıca bu akış rejimlerindeki hız aralıkları belirlendikten sonra Şekil 3'te basınç düşüşü ile hız arasındaki ilişkiden Ergün katsayılarına karşılık gelen katsayıları her bir rejim için hesaplamak mümkündür. Elde edilen bu değerler Tablo 2'de gösterilmektedir. Aynı gözenekli ortamın, farklı akış rejimlerinde ve tüm veriler dikkate alındığında Ergün sabitlerine karşılık gelen katsayılar önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Forchheimer katsayıları; Forchheimer, türbülans ve bütün deney verilerinden elde edilen değerlerde hemen hemen aynı değerlerde iken geçirgenlik değerlerinin farklı olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Farklı rejimlerde Geçirgenlikler, Forchheimer katsayıları ve Ergün sabitlerine karşılık gelen katsayılar

Bilye çapı [mm]	Akış rejimleri	Geçirgenlik [m ²]	Forchheimer katsayısı	A _E	B _E
2.00	Darcy	5.21 x10 ⁻⁹	-	158.6	-
	Forchheimer	4.53x10 ⁻⁹	0.52	182.3	1.87
	Türbülans	-	-	-	-
	Bütün veriler	4.75x10 ⁻⁹	0.51	174.1	1.80
2.38	Darcy	7.93x10 ⁻⁹	-	147.6	-
	Forchheimer	7.62 x10 ⁻⁹	0.6	153.6	1.98
	Türbülans	-	-	-	-
	Bütün veriler	7.98x10 ⁻⁹	0.59	149.6	1.90
3.17	Darcy	1.23x10 ⁻⁸	-	181.8	-
	Forchheimer	1.50x10 ⁻⁸	0.59	154.8	1.95
	Türbülans	1.09x10 ⁻⁸	0.49	206.1	1.78
	Bütün veriler	1.30x10 ⁻⁸	0.52	172.0	1.86

Aynı deney odasında 2.00 ve 2.38 mm çapında bilyeler için Darcy ve Forchheimer akış rejimleri görülürken, 3.17 mm çapında bilye için Darcy, Forchheimer ve türbülans akış rejimleri görülmüştür. Şekil 5'te Özer vd. (2014) yılında yaptığı çalışma 3 mm çapında bilye için akış rejim aralıkları kıyaslanmıştır. Özer vd. [14] 3 mm çapında çelik bilyelerden oluşturdukları gözenekli ortamda su akışını inceleyerek akış rejimlerini belirlemişlerdir. Akış rejimlerin geçirgenliğe göre hesaplanmış Reynolds sayısı ($Re_K = \rho u_m \sqrt{K} / \mu$) aralığında vermişlerdir. Yazarların yaptıkları çalışmada kullandıkları bilye çapı bu çalışmada kullanılan bilye çapına yakın değerdedir. Özer vd. [14] çalışmalarında bu çalışmada kıyaslandığında akış rejim aralıklarında az da olsa fark görülmüştür. Bu farkın spiral kanaldan da kaynaklı olduğu görülmektedir. Akış rejim aralıkları düz paket yatakla

kıyaslandığında, spiral paket yataklarda daha geniş aralıkta gerçekleşmektedir. Başka bir deyişle akış daha yüksek geçirgenliğe göre hesaplanmış Reynolds sayılarında Darcy bölgesinden Forchheimer bölgesine ve Forchheimer bölgesinden türbülanslı bölgeye geçmektedir. Bilindiği üzere içerisi boş eğrisel bir kanaldaki akış düz borudan farklıdır. Eğrisel kanal içindeki akış dıştan iç yüzeye doğrudur ve merkezkaç kuvveti nedeniyle ikincil akış meydana gelir. İkincil akış, akış rejimi üzerinde büyük bir etkiye sahip olan eğrilik oranına bağlıdır [15]. Bu kanallarda laminardan türbülanslı akışa geçiş, eğrilik oranının da bir fonksiyonudur. Bu yüzden laminardan türbülanslı akışa geçiş, düz borudakinden daha yüksek Reynolds sayılarında meydana gelir [16]. Bu durumda içerisinde gözenekli ortam bulunan eğrisel kanallarda da daha yüksek Reynolds sayılarında laminar bölgeden, türbülanslı bölgeye geçiş gerçekleşir.



Şekil 5. Akış rejimlerinin karşılaştırılması

Şekil 5'te yatay eksenin hemen üzerinde Bağcı vd.[14] yılında yaptıkları çalışmadan belirledikleri rejim aralıkları verilmiştir. Bu

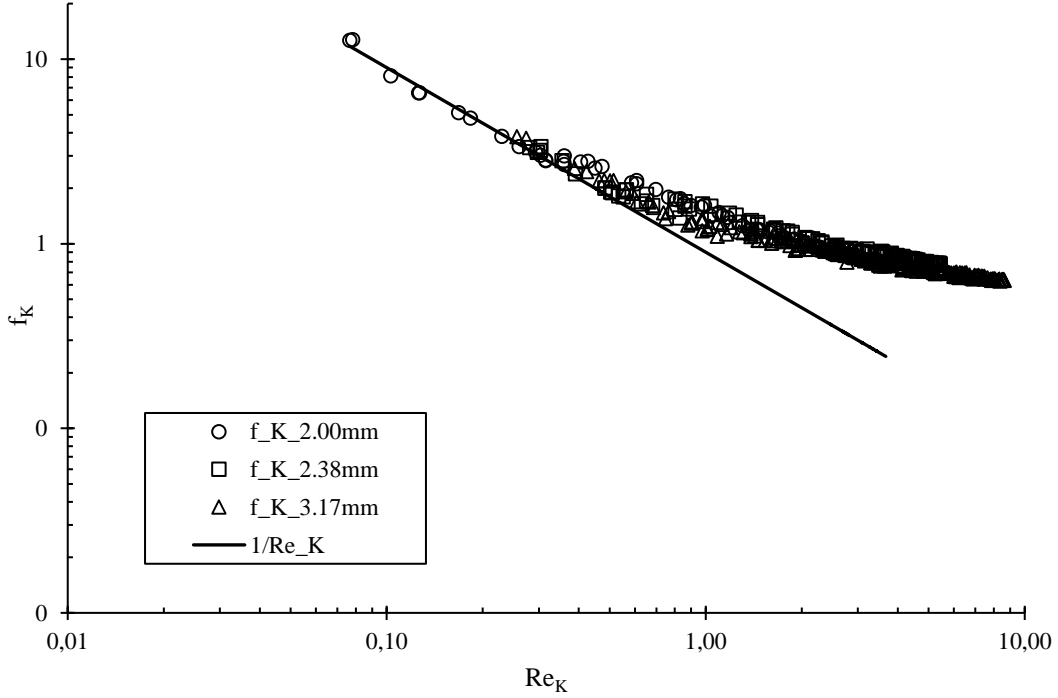
çalışmayla kıyaslandığında Darcy ve Forchheimer rejimlerinin daha geniş aralıklarda olduğu gösterilmiştir.

Eşitlik (7)'de, geçirgenliğe göre hesaplanmış sürtünme faktörünün yine geçirgenliğe göre hesaplanmış Reynolds sayısı ile ilişkisi sunulmuştur.

$$f_K = \frac{1}{Re_K} + F \quad (7)$$

Burada $f_K = (\Delta P/L)\sqrt{K}/\rho u_m^2$ ifade etmektedir. Eşitlik (7)'de sunulan geçirgenliğe göre hesaplanmış hem sürtünme faktörü ile hem de Reynolds sayısının ilişkisi Şekil 6'da çizdirilmiştir. Geçirgenliğe göre hesaplanmış sürtünme faktörü genellikle

Reynolds sayısı ile ters orantılıdır. Üç farklı çapta bilyeden oluşturulan gözenekli ortam için verilerin, özellikle 0,1'den büyük Re_K için aynı eğri üzerinde olduğunu görmek oldukça cesaret vericidir. Darcy rejimi için, veriler $1/Re_K$ eğrisini takip etmelidir; ayrılma bu işlev Darcy rejiminin sonunu ifade eder [14]. $Re_K=1$ değerine kadar akış rejimi Darcy'dir. Forchheimer rejimi bilye çapına göre farklılık göstermektedir. Şekil 6'nın formatında, Forchheimer rejiminden ayrılma ve muhtemelen türbülansa geçiş, deneysel sürtünme faktörünün yatay çizgi $f_K=0.65$ ile kesişmesi ile tanımlanabilir. Bu yaklaşık $Re_K=7$ arasında gerçekleşir. Grafikte de görüldüğü üzere her üç bilye çapı için hemen hemen aynı eğilim söz konusudur.



Şekil 6. Geçirgenliğe göre hesaplanmış sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki

4. Sonuçlar ve Tartışma

Kanalın hem kavisli hem de içerisinde gözenekli ortam olduğu durumda hava akışının sonuçları sunulmuştur. Spiral paket yatak 2.00, 2.38 ve 3.17 mm çapında çelik bilyelerden oluşturulmuş ve gözeneklilik değerleri her üç bilye için hemen hemen aynı %41.4 ile %42 arasında ölçülmüştür. Her üç bilye için akış rejim aralıkları belirlenmiştir. 2.00 ve 2.38 mm çapında bilye için Darcy ve Forchheimer akış rejimi görülürken, 3.17 mm çapında bilye için Darcy, Forchheimer, Türbülans akış rejimleri görülmüştür. Her üç bilye çapından oluşturulan paket yataklarda, Darcy öncesi akış rejimi görülmemiştir. Her bir rejim ve bütün deneysel veriler için geçirgenlikler, Forchheimer katsayıları ve Ergün sabitlerine karşılık gelen katsayılar belirlenmiştir. Aynı gözenekli ortamın, farklı akış rejimlerinde geçirgenlik, Forchheimer katsayısı ve Ergün sabitlerinin farklı değerler sergilediği görülmüştür. Düz paket yatakla karşılaştırıldığında, spiral paket yataklarda Ergün sabitlerinin daha yüksek çıktığı geçirgenlik değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir. Geçirgenlik değerinin azalması spiral paket yataklarda daha yüksek basınç düşüşleri ile karşılaştığı anlamına gelmektedir. Spiral paket yataklarda, düz paket yataklara kıyasla akış rejim aralıklarının daha geniş aralıkta olup, daha yüksek Reynolds sayılarında laminer bölgeden, türbülanslı bölgeye geçiş gerçekleşmektedir. Sürtünme faktörü ile geçirgenliğe göre hesaplanmış Reynolds sayısı arasındaki ilişki sunulmuştur. Bu çalışmanın sonuçları içerisinde gözenekli ortam

bulunan spiral levhalı ısı değiştiricilerinde basınç düşüşü yorumlanmasına ve daha iyi anlaşılmasına sağlayabilir. Ayrıca, akış rejimlerinin sınırlarını anlamak, gözenekli ortam akışlarının modellenmesine doğrudan yardımcı olabilir ve basınç düşüşünün yorumlanmasına, daha iyi anlaşılmasına sağlayabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (İTÜ-BAP-41487) kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] S. Ergun, A.A. Orning, Fluid Flow through Randomly Packed Columns and Fluidized Beds, Ind. Eng. Chem. 41 (1949) 1179–1184. <https://doi.org/10.1021/ie50474a011>.
- [2] S. Ergün, Fluid flow through packed columns, Chem. Eng. Process. 48 (1952) 89–94.
- [3] M.Y. Gökaslan, M. Özdemir, L. Kuddusi, Experimental study on laminar air flow through spiral channel packed with steel balls, Heat Mass Transf. Und Stoffuebertragung. (2021). <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03023-y>.
- [4] A.M. Norouzi, M. Siavashi, A.R. Soheili, M. Khaliji Oskouei, Experimental investigation of effects of grain size, inlet pressure and flow rate of air and argon on pressure drop

- through a packed bed of granular activated carbon, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 96 (2018) 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.05.019>.
- [5] Ö. Bağcı, N. Dukhan, M. Özdemir, Flow Regimes in Packed Beds of Spheres from Pre-Darcy to Turbulent, *Transp. Porous Media.* 104 (2014) 501–520. <https://doi.org/10.1007/s11242-014-0345-0>.
- [6] Ö. Bağcı, N. Dukhan, M. Özdemir, Various Flow Regimes and Permeabilities for Packed-Spheres Porous Media, *Defect Diffus. Forum.* 364 (2015) 1–8. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/DDF.364.1>.
- [7] I. Kececioğlu, Y. Jiang, Flow Through Porous Media of Packed Spheres Saturated With Water, *J. Fluids Eng.* 116 (1994) 164–170. <https://doi.org/10.1115/1.2910229>.
- [8] D. Seguin, A. Montillet, J. Comiti, F. Huet, Experimental characterization of flow regimes in various porous media—II: Transition to turbulent regime, *Chem. Eng. Sci.* 53 (1998) 3897–3909. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(98\)80003-1](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(98)80003-1).
- [9] M.Y. Gökaslan, M. Özdemir, L. Kuddusi, Bilye Doldurulmuş Spiral Kanalda Basınç Düşüşünün Deneysel İncelenmesi, 22. Ulus. Isı Bilim. ve Tek. Kongresi, Kocaeli. (2019) 844–852.
- [10] R.S.. Figliola, D.E. Beasley, *Theory and Design for Mechanical Measurements*, 6th ed., John Wiley & Sons, New York, 2015.
- [11] P.P.C. Avontuur, D. Geldart, A quality assessment of the Ergun equation, *Chem. Eng.* (1996) 994–996.
- [12] E. Ozahi, M.Y. Gundogdu, M.Ö. Carpinlioglu, A modification on Ergun’s correlation for use in cylindrical packed beds with non-spherical particles, *Adv. Powder Technol.* 19 (2008) 369–381. <https://doi.org/10.1163/156855208X314985>.
- [13] I.F. Macdonald, M.S. El-Sayed, K. Mow, F.A.L. Dullien, Flow through Porous Media—the Ergun Equation Revisited, *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 18 (1979) 199–208. <https://doi.org/10.1021/i160071a001>.
- [14] Ö. Bağcı, N. Dukhan, M. Özdemir, Flow Regimes in Packed Beds of Spheres from Pre-Darcy to Turbulent, *Transp. Porous Media.* 104 (2014) 501–520. <https://doi.org/10.1007/s11242-014-0345-0>.
- [15] A. Cioncolini, L. Santini, An experimental investigation regarding the laminar to turbulent flow transition in helically coiled pipes, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 30 (2006) 367–380. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2005.08.005>.
- [16] M. Ghobadi, Y.S. Muzychka, A Review of Heat Transfer and Pressure Drop Correlations for Laminar Flow in Curved Circular Ducts, *Heat Transf. Eng.* 37 (2016) 815–839. <https://doi.org/10.1080/01457632.2015.1089735>.



Impact Behavior of Aramid Reinforced Polymer Matrix Composites Produced By Hot Press-Prepreg Method

Ertan Kösedag^{1*}, Recep Ekici²

^{1*} Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5580-0414), ekosedag@yyu.edu.tr

² Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4420-8431), rekici@erciyes.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Kösedag, E. & Ekici, R. (2021). Impact Behavior of Aramid Reinforced Polymer Matrix Composites Produced By Hot Press-Prepreg Method. *European Journal of Science and Technology*, (28), 84-90.

Abstract

In this study, the production of polymer matrix composite material from prepreg with a hot press, which is a different method from the classical autoclave method, was optimized. The impact behavior of the composite materials produced was investigated. For this, 3mm thick and 90mm diameter aramid reinforced polymer matrix composite samples were produced by hot press method. Impact tests were carried out at 15, 30, 45J energy values. For the impact tests, a 10 mm radius semi-cylindrical steel tip was used. The weight of this tip is 5,045 kg. With the impact tests, the contact force time and energy time curves of the composite samples were obtained and the impact behaviors were interpreted from there. Accordingly, as the impact energy increased, there was an increase in the maximum contact forces of the composite samples and a decrease in the contact times. Considering the energy time graphs, it was determined that there was a decrease in the amount of absorbed energy of the samples as the impact velocity applied to the composite samples increased. Besides, considering the ratio of absorbed energy to applied energy, it was observed that the energy absorption ability dramatically decreased as the impact velocity increased. Finally, the densities of the composite samples produced with the hot press were determined according to the Archimedes principle.

Keywords: Aramid reinforced polymer matrix composite, Density, Low velocity impact, Hot-Press, Prepreg.

Sıcak Pres-Prepreg Yöntemi ile Üretilmiş Aramid Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada klasik autoklav yönteminden farklı olarak sıcak pres ile prepregten kompozit malzeme üretilebilirliği üzerinde çalışılmış ve elde edilen polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışları incelenmiştir. Bunun için 3mm kalınlığında 90 mm çapında aramid takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler sıcak pres yöntemi ile üretilmiştir. Darbe davranışı karakterizasyonu için 15, 30, 45J enerjiye sahip düşük hızlı darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Darbe testlerinde 10 mm yarıçaplı yarı silindirik çelik uç kullanıldı. Kullanılan çelik ucun ağırlığı 5.045 kg dir. Darbe testlerinden elde edilen temas kuvveti-zaman ve enerji-zaman eğrileri dikkate alınarak kompozit malzemelerin darbe dirençleri yorumlanmıştır. Buna göre, darbe enerjisinin artması ile maksimum temas kuvvetinde bir artış gözlemlenirken temas süresinde bir azalma tespit edilmiştir. Enerji zaman eğrileri değerlendirildiğinde, darbe enerjisinin artması ile kompozit numunelerin absorbe ettikleri enerji miktarında bir azalış olduğu görülmektedir. Bunun yanında, absorbe edilen enerjinin uygulanan darbe enerjisine oranı dikkate alındığında darbe enerjisinin artması ile bu oranda ciddi miktarda düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak kompozit numunelerin darbe sonrası görüntüleri sunulmuş ve sıcak pres ile üretilen bu aramid takviyeli polimer matrisli kompozitlerin yoğunlukları deney olarak Arşimet prensibini baz alarak çalışan yoğunluk ölçme cihazı ile tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aramid takviyeli polimer matrisli kompozit, Düşük hızlı darbe, Prepreg, Sıcak pres, Yoğunluk.

* Corresponding Author: ekosedag@yyu.edu.tr

1. Introduction

The rapid development of the industry creates the need for materials with new properties. Due to the fact that monolithic materials such as metal, polymer ceramics cannot meet the needs, the composite material approach has been put forward. In the last few decades, interest in polymer matrix composite (PMC) materials has been increasing, especially in the automotive, aviation and marine industries. The reason why composite materials are so important and preferable is the features they have and the advantages they provide. Some of the advantages of PMC materials; specific strength, low density, high corrosion resistance, etc. can be sorted [1-3]. However, the PMC have low fracture toughness unlike metals, making them susceptible to impact loads. Therefore, researching the impact behavior of PMC plates and increasing their resistance to impact loads has become an important issue in terms of design, safety and engineering applications. Damage to metal structures exposed to impact usually starts on the surface and can be detected with the naked eye [4-6]. On the other hand, in polymer matrix composites, this damage occurs in the form of delamination, fiber breakage and matrix cracking, which often takes place inside the structure and cannot be detected with the naked eye. In addition, impact effects at low and medium velocity can be absorbed by metals in an elastic and plastic manner, while plastic deformation due to the energy absorbed in polymer matrix composites is extremely low. Therefore, characterizing the impact behavior of PMC materials is extremely important. Some studies investigating the impact behavior of PMC materials are as follows.

Berk et al. [7] found in their study that S2 glass / epoxy composite samples absorb more energy than aramid / epoxy composite samples, considering the puncture threshold. Besides, for 30J impact energy, rebound condition occurred for S2-glass/epoxy samples, whereas puncture was observed for aramid/epoxy ones. To investigate the reaction of PMC to impact, Xiaofei et al. [8] conducted a study and observed that fiber breakage is very limited, while matrix cracking and delamination are the main damage mechanisms. In addition, matrix damage in the upper layers; they stated that it is mainly caused by compressive stress and tensile stress in the lower layers. The low velocity effect caused delamination in only a few interlayers. They found that there was no distortion in the middle area due to the normal compressive stress applied by the impactor. In another study, Sayer [9] experimentally investigated the impact behavior of glass-fiber/epoxy and hybrid composite plates such as aramid fiber-glass fiber/epoxy, aramid fiber-carbon fiber/epoxy and carbon fiber-glass fiber/epoxy plates at increasing impact energies at room temperature. It has been found that increasing the number of carbon layers at room temperature has little effect on increasing the puncture limit value for hybrid composites. Belevi and Inançer [10] investigated the impact behavior of hybrid composites with different temperature and increasing impact energy. They observed that the behavior of composite materials changed at different temperatures and striker velocity. Gustin et al. [11] investigated the impact, post-impact compression and tensile strength behaviors of carbon fiber and kevlar sandwich composites. The bottom face plates are made entirely of carbon fiber to maintain the overall flexural rigidity of the sandwich composite. Experimentally obtained results helped define the advantages and disadvantages of replacing carbon fiber sheets with kevlar or hybrid. Uyaner and Kara [12] investigated the

effects of plate dimensions on damage in laminated composites subjected to low velocity impact. As a result, they observed that as the sample width increases, the contact force increases and the amount of permanent displacement on the test samples decreases on the material. Yapıcı et al. [13] carried out a study about the dynamic behavior of e-glass/epoxy composite sheets subjected to low velocity impact using the finite element method. As a result of the finite element analysis; velocity-time, acceleration-time, force-time, displacement-time and kinetic energy-time changes are given in graphs. Salehi-Khojin et al. [14] investigated the impact tests of layered kevlar/glass-fiber composites at variable temperatures (-50° to 120°C) and low velocities. They also examined the results of maximum energy, elastic energy, maximum collapse, maximum impact force, ductility under the effect of temperature after impact. In the study conducted by Özeş and Taşkın [15], the impact behaviors of two composites produced with jute fabric and wool felt reinforcement were investigated. In order to increase the surface adhesion properties, the jute fabrics were kept in 10% NaOH solution for 4 hours and then left to dry at room temperature. Composites were produced in the same thickness by vacuum infusion method. Composite specimens were tested at three energy levels to determine their impact strength. The results showed that the damage was less in wool felt reinforced composite under the same impact load.

In this study, aramid fiber reinforced PMC materials were obtained from prepreg using a hot press with a different approach. Thus, unlike autoclave, its manufacturability with hot press is optimized. Impact tests at three different energy were applied to PMC materials of equal thickness produced under the same conditions and the energy absorption capabilities of these materials were examined. Post-impact composite specimen images are presented. In addition, the densities of the produced composite specimen were measured experimentally.

2. Material and Method

Prepreg is the pre-prepared epoxy resin and hardener components impregnated with the fiber fabric. In the production method with prepreg, the mixture of epoxy resin and hardener is impregnated with the fiber fabric, and the fabric, which is impregnated with the mixture prepared according to the amount and type of epoxy and hardener used, can be stored at room temperature for a certain period of time without curing, without deteriorating its structure. The special formulation of the epoxy ensures that the curing process is significantly slow at ambient temperature and almost completely stopped at freezing temperatures. Since the prepreg is cut as the final product, material consumption and composite cutting costs are avoided. In addition, it is less harmful to human health in terms of smell and reaction compared to other methods. The disadvantages of producing with prepreg are that the shelf life of the prepreg is low, that is, it must be converted into a product immediately after being prepreg.

Autoclave is used to obtain composite from prepreg. Autoclave gives optimum results as it performs compaction and curing process at the same time, but autoclave is a very expensive production equipment. For this reason, alternative ways are tried to produce composite from prepreg, the main thing is to compress the fiber so that there is no gap in it and to cure it at the appropriate temperature for the appropriate time. During production, the load on the prepreg by vacuum or other means must be sufficient to

allow the epoxy to pass into the fiber. As can be seen in Figure 1 the applied pressure will ensure that the epoxy mixture wraps

around the fibers and thus a uniform epoxy fiber distribution structure is obtained.

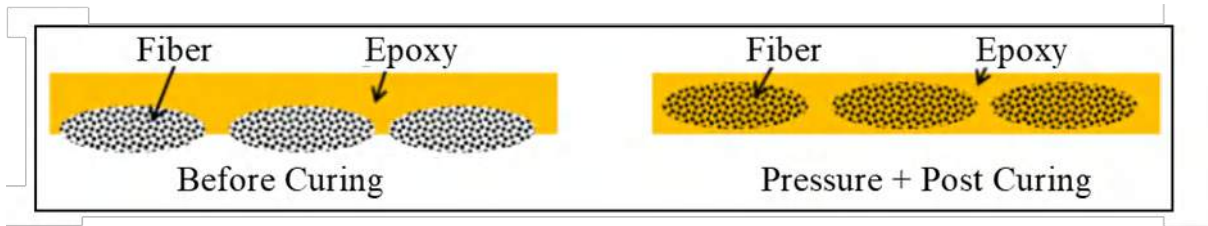


Figure 1 The epoxy mixture wraps around the fibers [16].

One of the important points to be considered while producing composites with prepreg is that the epoxy-rich prepreg surface is facing upwards, that is, in the direction where the pressure will be applied.

As can be seen in Figure 2 the order to be followed while producing is as follows.

- Prepregs are laid on the mold that is desired to be shaped.

- The separator layer, the blanket layer that accelerates the air flow, and the molding nylon are laid.
- Vacuuming process is carried out.
- It is placed in an autoclave or oven at the appropriate temperature for curing.

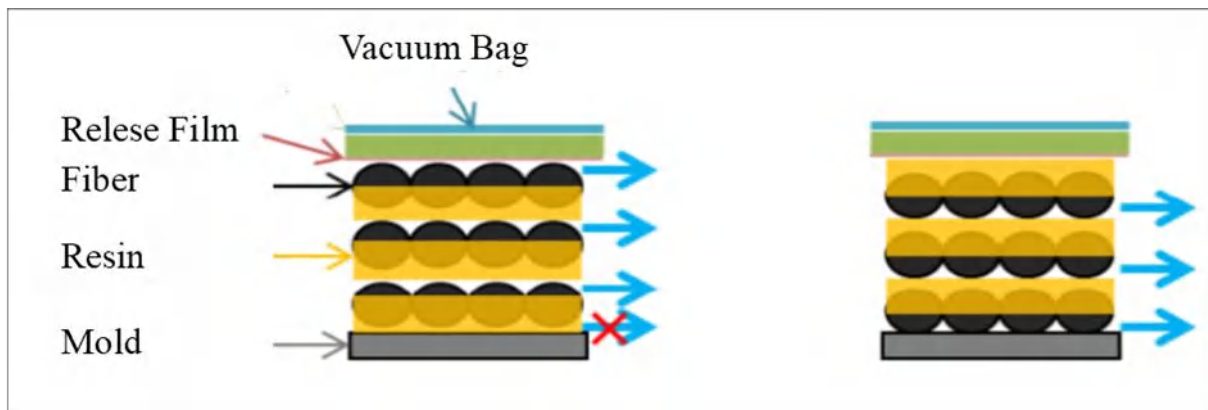


Figure 2 Prepreg production scheme [16]

For the production of aramid reinforced polymer matrix composite, preregs supplied from Kompozitsan® were used. Aramid fabric has a plain structure and has an areal density of 300 g/m². The preregs were produced with a hot press device as seen in Figure 3. The preregs cut into the desired sizes were placed appropriately (3 mm) and cured in a vacuum environment for 90 minutes at 120°C under approximately 13-15 bar pressure. Heating rate is set at 6 °C/min. Since the applied pressure differs according to the number of sample layers to be obtained, the pressure was changed according to the 0.25 mm thickness, which is the final thickness that each layer will reach. In order to analyze

the low velocity impact behavior of the polymer matrix composite, aramid based polymer matrix composites were produced by prepreg method with a thickness of 3 mm and a diameter of 90 mm and exposed to three different impact energies. Composite specimens were applied to the hemispherical tips with a radius of 10 mm and a weight of 5.045 kg with an impact energy of 15, 30, 45 joules at room temperature, by giving velocities of 2.44, 3.44, 4.22 m/s. Low velocity impact test setup is presented in Figure 4. Density measurements of polymer matrix composites were made with Precisa® brand device (Figure 5) that calculates with Archimedes principle.

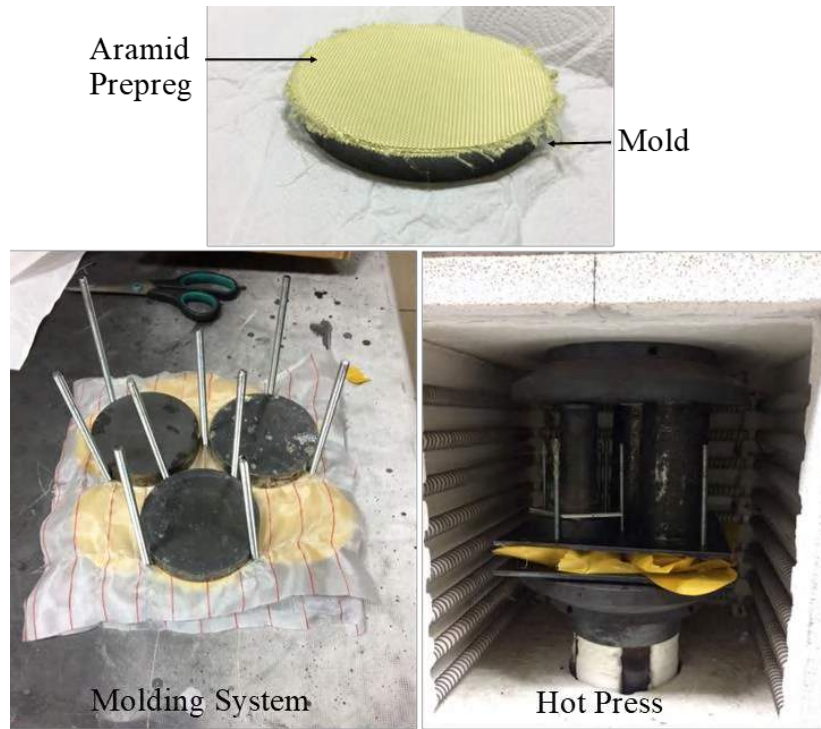


Figure 3 Production stages of polymer matrix composite with prepreg.

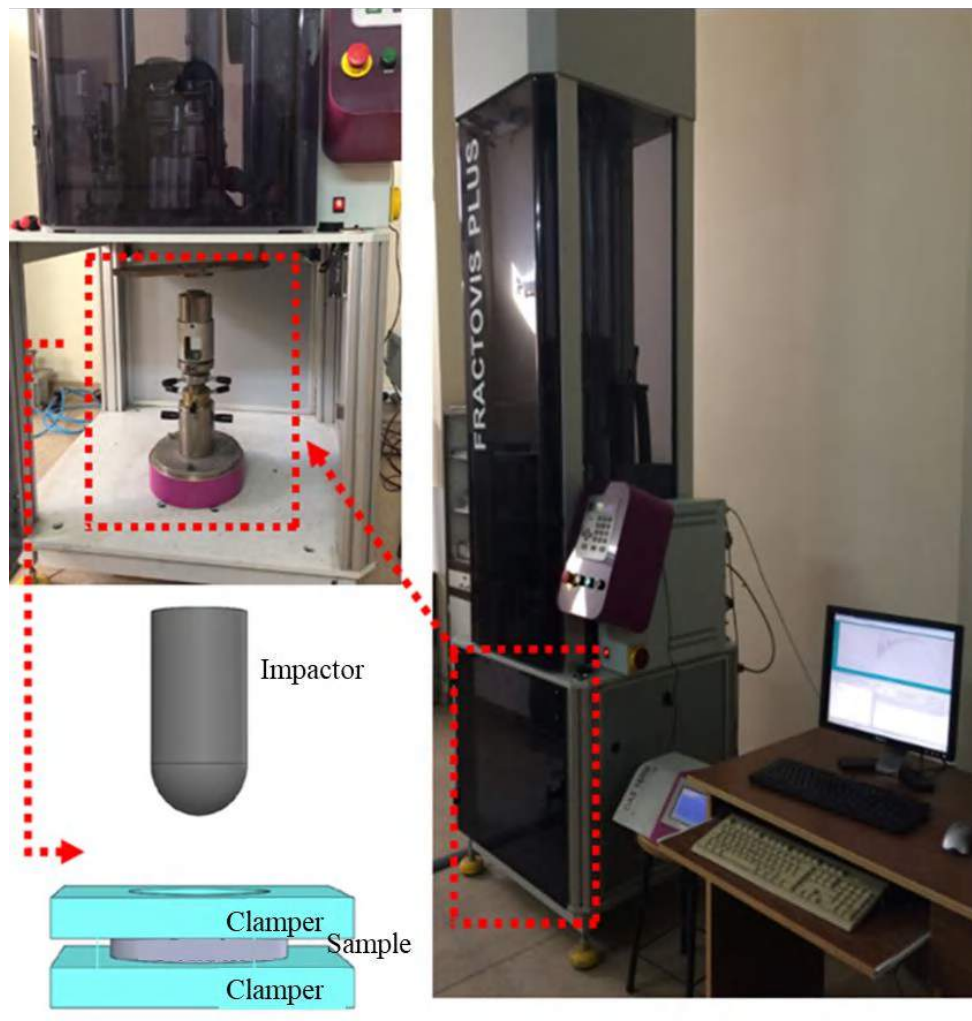


Figure 4 Low velocity impact test setup.

3. Results and Discussion

Density measurements of composite samples were made on the basis of Archimedes principle as seen in Figure 5. The measurement results obtained are presented in Table 1. With this method, density measurement is performed on the basis of the following equation.

$$\rho_c = \frac{W_a}{W_a - W_w} \rho_w$$

Here, ρ_c represents the density of the composite, W_a the weight of the composite in air, W_w the weight of the composite

in water, and finally the density of water at ρ_w (1000kg/m³). Three measurements were made and the arithmetic average was taken. Accordingly, the density of the produced composite was determined as 1,255 g/cm³. This value is a very suitable result for structural applications.

Table 1 Density measurement results.

Measurement	1.	2.	3.	Arithmetic Mean
g/cm ³	1.228	1.224	1.312	1.255

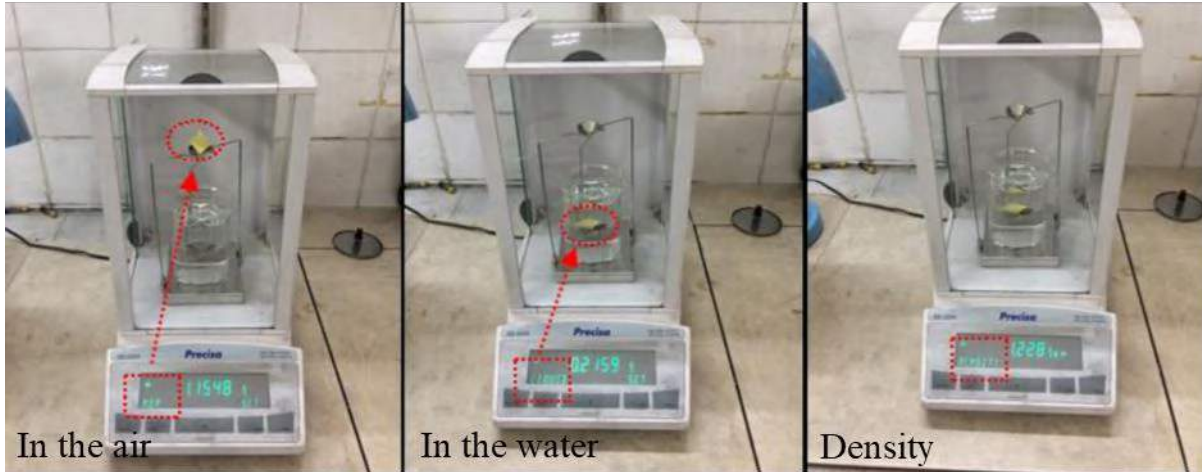


Figure 5 Density measurement steps.

For the analysis of the impact behavior of polymer matrix composites produced from prepreg, the results of the impact analysis performed at three different velocity were obtained as

contact force time and energy time curves. The contact force time and energy time curves obtained by the impact test are given in Figure 6 and Figure 7.

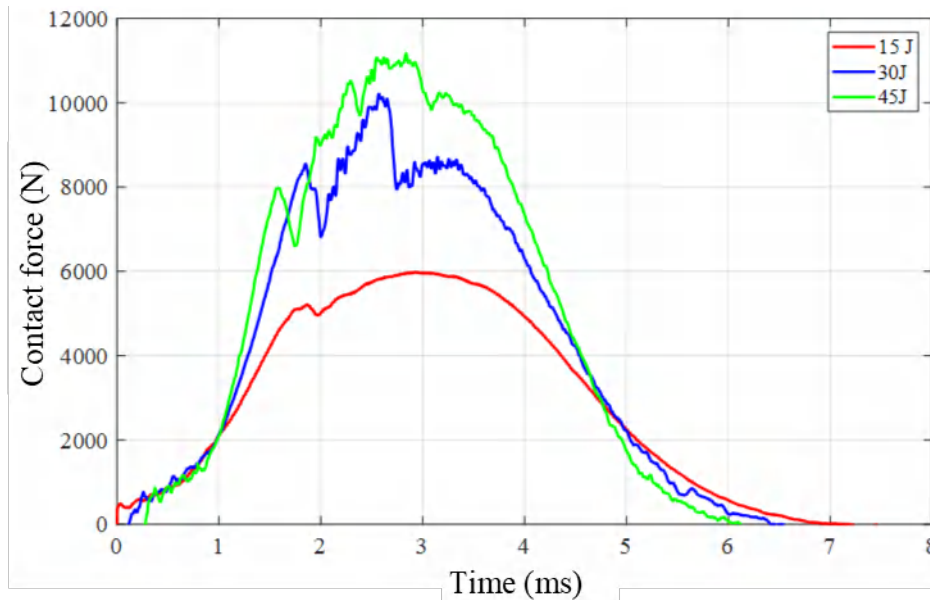


Figure 6 Contact force-time curves at three energies.

As can be seen in Figure 6, it has been determined that the contact force time curves become irregular as the impact energy increases. The maximum contact force is approximately 6, 10, and 11 kN, respectively, when 15, 30, and 45 J are applied. It can be clearly seen that the contact times decrease with the energy. When the curves are examined carefully, it is understood that when the impact energy is 15 J, the composite material responds more

uniformly to the impact, and when the impact energy is increased to 30 and 45 J, matrix and fiber damages occur in the samples. The energy - time curves obtained from the impact test are presented in Figure 7. Here, it was determined that the ability of polymer matrix composite to absorb the applied impact decreased with the increase of impact energy in samples produced under the same conditions and having the same geometry. When 15, 30, 45

J impact energy was applied to the samples, it was understood that the samples absorbed 13.5, 10 and 6 J energy, respectively. If expressed as a percentage, when 15 J energy is applied, the

polymer matrix composite material absorbs 90% of this energy, while this rate is 33.3% and 13.3% when 30 and 45 J are applied, respectively.

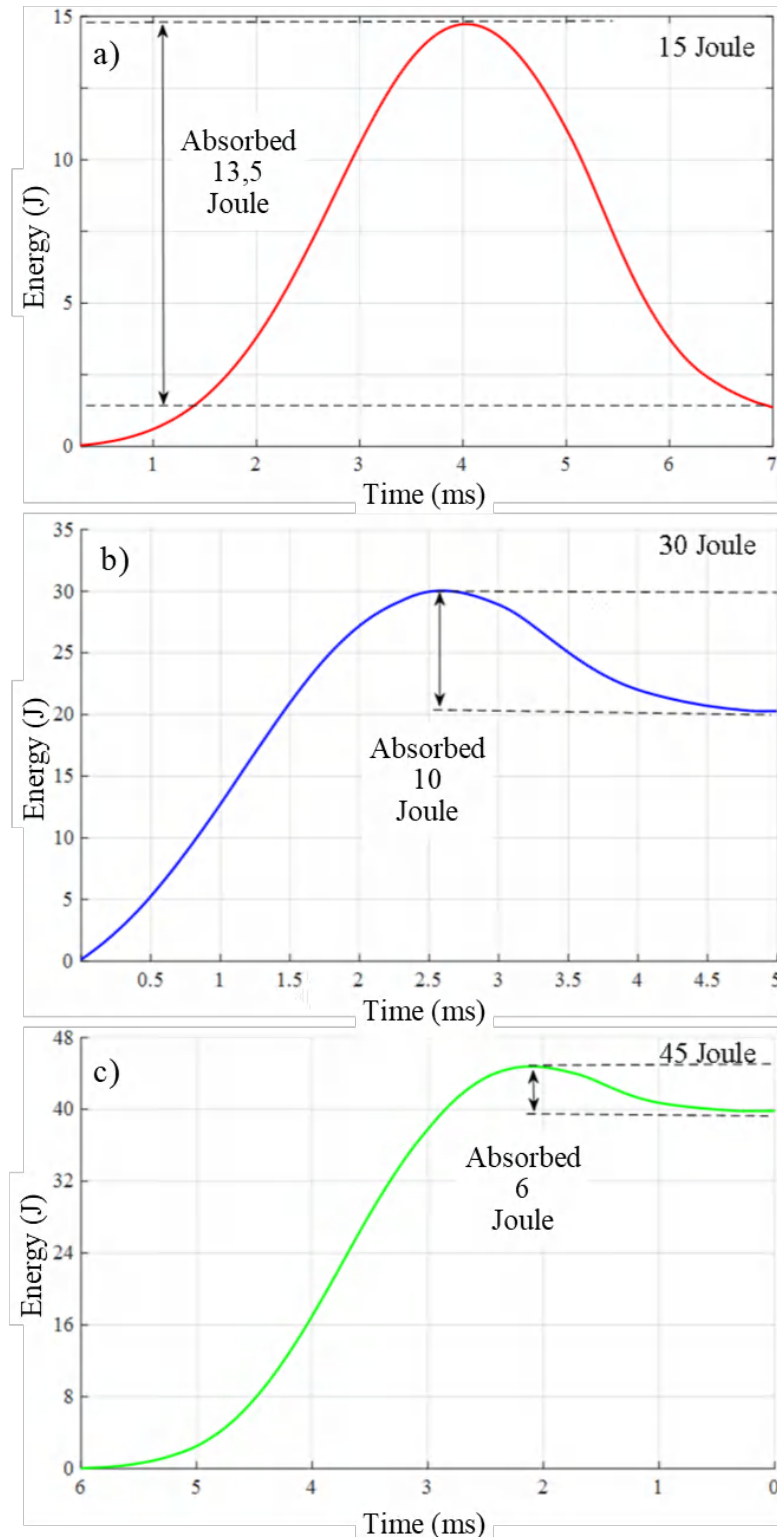


Figure 7 Energy-time curves of a) 15 J b) 30 J and c) 45 J of polymer matrix composites.

The images taken from the front and back of the impacted samples are given in Figure 8. When the sample surfaces are examined, the damage in the matrix and fiber, which shows

parallel results with the contact force - time curves, can be clearly seen.

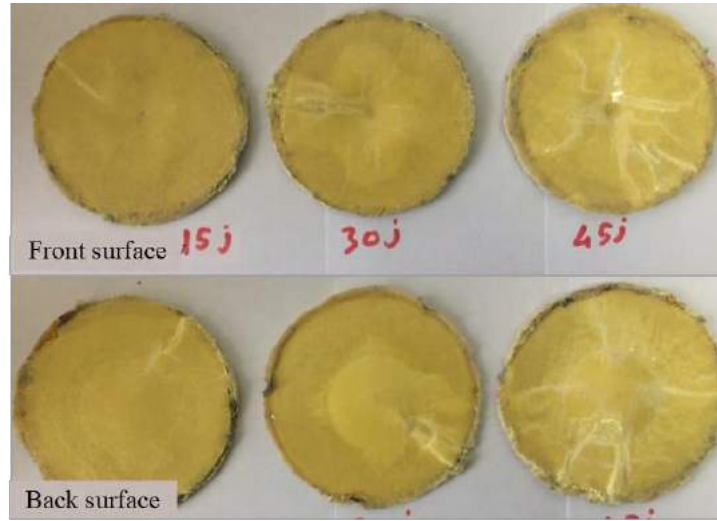


Figure 8 Damage images of PMK structures after low-velocity impact testing.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, a new method was applied for the production of polymer matrix composites with prepreg. Unlike the classical autoclave method applied in production with prepreg, with this production method, the prepregs were carried out in the press-vacuum-curing process in the oven. With this method, 3 mm thick and 90 mm diameter aramid reinforced polymer matrix composites were produced and impact tests were carried out at 15, 30, 45 J energy values. According to the contact force time and energy time curves obtained from the impact tests, the impact resistance of the composite materials as a result of the impact at different velocity was revealed. Accordingly, an increase in the maximum contact force was detected as the impact velocity increased in the composite samples. Besides contact time decreases. In addition, as the impact velocity increased, the irregularity in the characteristic curves began to increase. The amount of energy absorbed by the composite samples was determined. Accordingly, the energy absorbing abilities of the composites show a decrease as the impact velocity increases.

5. Acknowledge

Financial support for this study was provided by the Division of Scientific Research Projects (BAP), Erciyes University, TURKEY (Project No. FDK-2018-8658).

References

- [1] Aktas M., Atas C., İcten B M., Karakuzu R., 2009. An experimental investigation of the impact response of composite laminates. *Composite Structures*, 87, 307–313.
- [2] Bouvet C., Rivallant S., Barrau J.J., 2012. Low velocity impact modeling in composite laminates capturing permanent indentation. *Composites Science and Technology*, 72, 1977–1988.
- [3] Belingardi G., Vadori R., 2002. Low velocity impact tests of laminate glass-fiber-epoxy matrix composite material plates. *International Journal of Impact Engineering*, 27, 213–229.
- [4] Kosedag E., and Ekici R., 2019. Low-velocity impact performance of B₄C particle-reinforced Al 6061 metal matrix composites. *Materials Research Express*, 6, no. 12, doi:10.1088/2053-1591/ab5815.
- [5] Ekici R., Kösedag, E., 2017. Comparison of the low-velocity impact behaviors of SiC and Pumice particle-reinforced metal matrix composites. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5 (10), 101-105.
- [6] Kösedag E., Ekici R., 2019. Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Darbe Davranışları Üzerine Bir Derleme. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 8, 384-393.
- [7] Berk B., Karakuzu R., İcten M., Arıkan V., Arman Y., Ataş C., Gören A., 2016. An Experimental and Numerical Investigation on Low Velocity Impact Behavior of Composite Plates. *Journal of Composite Materials*, 50 (25), 3551–3559.
- [8] Xiaofei L., Hongneng C., Pengfei Y., FeiJiao, Xuecheng H., 2017. Failure Analysis of Composite Laminate under Low-Velocity Impact Based on Micromechanics of Failure. *Composite Structures*, 163, 238–247.
- [9] Sayer, M., 2009. Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [10] Belevi M., İnançer G., 2004. Darbe ve Ortam Şartlarının Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkileri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 9-31.
- [11] Gustin, J., Joneson, A., Mahinfalah, M., Stone, J., 2005. Low velocity impact of combination Kevlar/carbon fiber sandwich composites, *Composite Structures*, 69, 396–406.
- [12] Uyaner M., Kara M., Ataberk N., 2007. E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışına Numune Boyutlarının Etkisi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 361-368.
- [13] Yapıcı, İ., Yapıcı, A., 2012. E-Camı/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 48-60.
- [14] Salehi-Khojin A., Bashirzadeh R., Mahinfalah M., Nakhaei-Jazar R., 2006. The role of temperature on impact properties of Kevlar/fiberglass composite laminates. *Composites: Part B*, 37, 593–602.
- [15] Özes Ç., Taşkın A.E., 2016. Jüt Kumaş ve Yün Keçe Esaslı Kompozitlerin Darbe Davranışının Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18 (54), 513-520.
- [16] Danzi, M., 2017. Manufacturing of Polymer Composites OOA Prepreg Technology, Laboratory of Composite Materials and Adaptive Structures, ETH Zürich.



A Study on Structural Behaviour of RC Buildings Pre-Designed According to TBSC Design Principles

Hakan Dilmaç^{1*}

^{1*} Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0346-8875), hakandilmac@sdu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.988526)

ATIF/REFERENCE: Dilmaç, H. (2021). A Study on Structural Behaviour of RC Buildings Pre-Designed According to TBSC Design Principles. *European Journal of Science and Technology*, (28), 91-96.

Abstract

Despite the changes and updates made in the Seismic Codes, it is obvious that the loss of life and property in the occurring earthquakes did not decrease to the desired extent. One of the most important reasons for this is that adequate and quality engineering services cannot be provided in the design of buildings. This is mostly due to complex calculation methods of the Seismic Codes. In this respect, some limit conditions are specified for the design of the cross-sectional dimensions of the structural system elements of regular buildings with shear walled-framed in Turkish Building Seismic Code (TBSC). In these relations, the smallest cross-sectional dimensions are obtained to provide sufficient axial pressure and shear force resistance of the load-carrier system and its elements. However, seismic performance of buildings are not mentioned in these design rules. In this study, the seismic performance and structural behaviour of the buildings were evaluated by considering the column and shear wall cross-section dimensions. The compatibility of the buildings designed according to the proposed design rules with seismic performance has been investigated. When the analytical results obtained are evaluated, it can be stated that the design rules specified in TBSC can be generally sufficient for the building performance and structural behaviour.

Keywords: Seismic performance, RC building, RC shear walled, Column, Pre-design.

Deprem Yönetmeliği Esaslarına Göre Ön Tasarımı Yapılan Betonarme Binaların Yapısal Davranışı Üzerine Bir Çalışma

Öz

Deprem Yönetmeliklerinde yapılan güncelleme ve değişikliklere rağmen depremler sonucunda oluşan kayıplar istenilen ölçüde azalmadığı aşikardır. Bunun en önemli nedenlerinden biri binaların tasarımında yeterli ve kaliteli mühendislik hizmetlerinin verilememesidir. Bu durum genellikle yönetmeliklerde verilen hesap esaslarının karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde, yeni yapılacak olan perdeli-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme binaların kolon ve perde elemanlarının ön boyutlandırmasında önerilen bazı tasarım esasların ifade edilmektedir. Bu esaslarla, kolon ve perdelerin yeterli aksenal basınç, kesme kuvveti ve yanal rijitliğe sahip olmaları için en küçük kesit boyutları hesaplanabilmektedir. Ancak, bu tasarım kurallarına ilişkin bağıntılarda binanın deprem performansından bahsedilmemektedir. Bu çalışmada, perdeli-çerçeve model betonarme bir binanın yönetmelikte belirtilen tasarım kurallarına göre elemanlarının enkesit boyutları belirtmiştir. Model binaların deprem analizi yapılarak, performansları elde edilmiştir. Bu bağlamda, tasarım esaslarına göre belirlenen kolon perde boyutlarının bina performansı için de yeterli olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem performansı, Betonarme bina, Betonarme perde, Kolon, Ön tasarım.

* Corresponding Author: hakandilmac@sdu.edu.tr

1. Introduction

At the design stage of RC buildings to make the seismic resistant many methods have been developed in the national and international arena (FEMA 2003, Yakut 2005, Ersoy 2014, Akalp et al. 2015). This situation is a result of the fact that the loss of life and property damage caused by the medium-sized earthquakes that occurred in the last few years is at a level that cannot be underestimated. In the light of these developments, new seismic codes are issued in our country, as in many countries, or the existing ones are being revised. In particular, within the scope of the Turkish Seismic Code (TEC 2007), the seismicity limits of the local locations of the RC buildings at the design stage was taken into account and was named as "earthquake zones". As a result of the earthquakes experienced in the past time period, the term "earthquake zones" has been abolished. The earthquake zones map was updated on March 2018 by the Ministry of Interior, Disaster and Emergency Management Presidency. In this and many others aspects, the TEC has also been updated and published as Turkish Building Seismic Code (TBSC 2018). While designing RC buildings and determining the seismic performance of existing ones, the current earthquake map data detailed in TBSC are taken into account. In other words, it is understood that for each building to be built, the earthquake factor is now considered more seriously in terms of engineering services.

Important analysis details are given about determining the seismic safety of RC buildings and performing seismic performance analysis of existing ones in TBSC. However, the complexity and time consuming of the calculations foreseen in TBSC is a very challenging situation for civil engineers in terms of evaluating the seismic performance of buildings. It is very difficult for civil engineers working in the field to keep up with the constantly developing and changing technology and computer software. Therefore, while serious engineering service is needed in earthquake resistant structure design, wrong structural design applications can be the usual result of the process. In this context, many practical and easy-to-apply methods have been developed by many researchers and official institutions around the world to determine the seismic safety of buildings (Yakut 2004, Tekeli et al. 2017, TBSC 2018, Dilmaç 2020). However, precise results cannot be obtained with these methods. In particular, the applicability of these methods is weak in determining the seismic safety of RC buildings with structural irregularities. In this respect, in the last part of the TBSC, some relations are given for the preliminary design of regular and pre-conditions of RC shear wall-frame RC buildings. In order to provide axial compression and shear force resistance of column and wall elements, their smallest cross-section dimensions are predicted with these relations. Within the scope of this study, an evaluation has been made in terms of both structural behavior and earthquake performance for model reinforced concrete buildings with only RC shear walled-framed structural system, taking into account the smallest section dimensions predicted under the conditions specified in TBSC. The earthquake performance suitability of the buildings designed according to the proposed preliminary design rules was investigated.

2. Design Rules Within The Scope of TBSC

In order to determine the earthquake safety of new or existing reinforced concrete buildings, there are very detailed

design and calculation methods in the TBSC. In the application of these methods, necessary principles have been specified by considering the behavior of RC buildings under both vertical and horizontal loads. In addition, simplified design rules for regular and cast-in-place RC buildings with RC shear walled-framed structural system are detailed in TBSC. This section is limited to the dimensioning of the cross-sections of the column and RC shear wall (RCS) elements and the determination of their reinforcements in order to provide sufficient moment-carrying capacity and sufficient shear strength capacity only in system elements with high ductility level. In the equations given for the preliminary design of the cross-section dimensions of the structural system elements of RC buildings, it is not expected to obtain any evaluation result under dynamic effects. Some relations are given for the minimum cross-sectional area or dimensions required for column and RCS to have sufficient axial compressive and shear strength. It is foreseen that the axial compressive stresses of each column should be calculated as the limit value given in Eq. 1.

$$A_{ci} \geq 0.00012 (g + q) \sum A_{oi} \quad (1)$$

Here, A_{ci} is equal to the cross-sectional area of each column, $(g+q)$ the sum of the average distributed and live load values, and 15 kN/m^2 . $\sum A_{oi}$ is the sum of the area shares accumulated along all the stories carried by the column for the considered column. The minimum condition of the cross-sectional area for each column to have sufficient shear strength is given in Eq. 2.

$$A_{ci} \geq 0.0001 \cdot S_{DS} (g + 0.3q) \sum A_{oi} \quad (2)$$

The S_{DS} value is the design spectral acceleration coefficient defined for the short period region and $(g+0.3q)$ the sum of the average distributed and live load values, and 13 kN/m^2 . The required total cross-sectional area ($\sum A_{wi}$) of RCSs in earthquake direction and at the ground storey level of buildings is determined as in Eq. 3 and 4.

$$\sum A_{wi} \geq 0.0002 \cdot S_{DS} (g + 0.3q) \sum A_{pi} \quad (3)$$

$$\sum A_{wi} \geq 0.0007 \cdot S_{DS} (g + 0.3q) A_{pt} \quad (4)$$

Here, $\sum A_{pi}$ is the sum of the building storey areas and A_{pt} is equal to the building storey area. In order for the columns and RCSs on the ground storey to have sufficient shear strength, the sum of the cross-sectional areas of both elements ($\sum A_{ci} + \sum A_{wi}$) must provide the condition in Eq. 5.

$$\sum A_{ci} + \sum A_{wi} \geq 0.0003 \cdot S_{DS} (g + 0.3q) \sum A_{pi} \quad (5)$$

In order to use these design rules, the required cross-section dimensions, the reinforcement lower limit values, the seismic parameters whose details are specified in the relevant section of TBSC and the local soil conditions are determined. Also, it is stated that if any of these conditions are not met, the dimensioning of columns and RCSs cannot be done according to the given design rules

2.1. Model Rc Building Properties

Within the scope of the study, a 5-storey square model building with 2 (S_1) and 4 (S_2) openings in both directions was designed (Figure 1). At the same time, some of the specified design conditions are as follows: Absence of any irregularity, the

longest side of the building in the plan is 30 m at most, there is no discontinuity or off-axis shift in the axes of the load-carrier system, the building does not have a storey height greater than 4 meters, the design was made by paying attention to the slab-thickness of at least 150 mm. The special conditions mentioned above were taken into account in the modeling. The smallest column size is 300x300 mm and the RCS size is 250x1500 mm. At the same time, modeling has been made as a residential or office type buildings whose the building usage class is defined as BKS=3. Two types of variations of the model building designed within the scope of the study were created. When the structural features of the model buildings are examined, it is understood that only the storey area of the building has been changed. Considering the parameters in the design rules, many factors are seen. It is considered usual to carry out different studies to examine these parameters separately. However, in the study, the load values of the building designed in terms of the design rules specified in TBSC were determined as (g+q) load component would be at least 15 kN/m² and (g+0.3q) load component would be at least 13 kN/m². As can be seen from Figure 1, it is seen that there are no structural irregularities in the horizontal and vertical directions.

columns and middle columns are named "Cc", "Sc" and "Mc" respectively, and the RCSs are named "Pc". In the analysis, only the columns belonging to the first storey were processed. In addition, the local soil class ZD is defined as firm sand, gravel or very firm clay, and the earthquake level is considered as earthquake (DD-2) with a 10% probability of exceeding in 50 years. The short period design spectral acceleration coefficient (S_{DS}) values was taken as 0.85g in analyses. Considering the design rules for the columns, the threshold values of dimensions that meet the limit values in terms of sufficient axial compressive stress and sufficient shear strength were obtained. These values are given in Table 1 and Table 2, respectively. The columns are taken into account as rectangular, with the short side remaining constant 300 mm. Accordingly, the condition that the ratio of the long side to the short side should not be more than 2 is also taken into account. At the same time, analyzes were carried out only in the x-direction to taking advantage of the symmetry of the model buildings.

Considering the design rules for RCS, the threshold values of dimensions that meet the limit values in terms of sufficient shear surface area were obtained and given in Table 3. These values were determined according to the limit values in Eq. 3 and Eq. 4. In the analyses, the short side length of the RCS was taken into account as 300 mm.

In order for the columns and RCSs at the ground storey level of the model buildings to have sufficient shear strength, the sum of their cross-sectional areas must meet the limit condition given in Eq. 5. Considering the column and RCS cross-section dimensions in Tables 1,2,3 and 4, the cross-section dimensions to be considered in model buildings are obtained as in Table 4. Column and RCS cross-section dimensions were calculated separately to provide each of the five limit condition values given for simplified design rules in TBSC. According to these results, the most critical column and RCS dimensions that will provide each of the limit condition values are considered. In this case, the column and RCS section dimensions taken into account in both models selected for structural analysis have been considered as shown in Table 4.

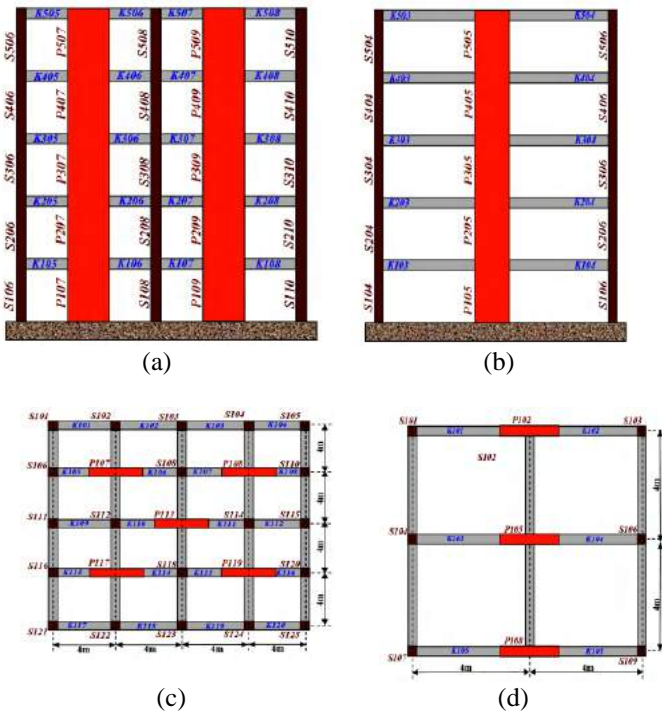


Figure 1. Storey -length sections (a,b) and plans (c,d) for S₁ (a) and S₂(b)

As stated in the TBSC, the analysis was made by considering the inelastic method requirements in the seismic analysis of the model buildings.

3. Preliminary Design of Model Buildings

According to the principles specified in the TBSC and the limit conditions in the second part of the study, the minimum cross-section dimensions of the columns and RCSs for model buildings were determined to meet all five conditions. When the plans of the model buildings are examined (Figure.1(b,d)), columns and RCSs with the same areal share are grouped within themselves for easy identification. Corner columns, side

Table 1. Column sections in terms of axial compressive strength

Model ID	Column ID	A _{0i} (m ²)	A _{ci} (m ²)	A _{ci(min)} (m ²)	Section (m) (b/h)
S ₁	Cc	4.0	0.036	0.09	0.30/0.30
	Sc	8.0	0.072	0.09	0.30/0.30
	Mc	16.0	0.144	0.09	0.30/0.48
S ₂	Cc	4.0	0.036	0.09	0.30/0.30
	Sc	8.0	0.072	0.09	0.30/0.30

Table 2. Column sections in terms of shear strength

Model ID	Column ID	A _{0i} (m ²)	A _{ci} (m ²)	A _{ci(min)} (m ²)	Section (m) (b/h)
S ₁	Cc	4.0	0.022	0.09	0.30/0.30
	Sc	8.0	0.044	0.09	0.30/0.30
	Mc	16.0	0.088	0.09	0.30/0.30
S ₂	Cc	4.0	0.022	0.09	0.30/0.30
	Sc	8.0	0.044	0.09	0.30/0.30

Table 3. RCS sections in terms of shear surface area

Model ID	RCS ID	Number (n)	$A_{pi} = A_{pt}$ (m ²)	A_{wi} (eq.3) (m ²)	A_{wi} (eq.4) (m ²)	$A_{wi}(\min)$ (m ²)	Section (b/h)
S_1	Pc	5	256	0.566	0.396	0.375	0.30/1.90
S_2	Pc	3	64	64	0.165	0.375	0.25/1.50

Table 4. Column and RCS section dimensions selected in modeling

Model ID	Column and RCS ID	Number (n)	$A_{pi} = A_{pt}$ (m ²)	Total shear area (m ²)	Limit shear area (m ²)	Section (b/h)
S_1	Cc	4	256	4.886	4.240	0.30/0.30
	Sc	12				0.30/0.30
	Mc	4				0.30/0.48
	Pc	5				0.30/1.90
S_2	Cc	4	64	1.665	1.061	0.30/0.30
	Sc	2				0.30/0.30
	Pc	3				0.25/1.50

4. Analysis Results

In TBSC, "building performance levels" are defined for the structural systems of reinforced concrete buildings under the influence of earthquakes. Immediate use performance level (KK); it corresponds to the situation in which structural damage does not occur in the building load-carrier system elements or the damage remains negligible. Limited damage performance level (SH); it corresponds to the damage level at which limited damage occurs in the structural elements of the building, in other words, the nonlinear behavior is limited. Controlled damage performance level (KH); in order to ensure life safety, it corresponds to the level of damage that is not very heavy and mostly possible to repair in the building load-carrier system elements. Collapse prevention performance level (GÖ); it corresponds to the pre-collapse situation in which severe damage occurs in building load-carrier system. Within the scope of the study, SDS= 0.85g and BKS=3 were taken. According to these values; seismic design status (DTS) value for model buildings has been determined as 1. Since the total height (HN) of the model buildings is 15 m, the building height class (BYS) value is 6. In this case, it is aimed to provide the normal performance target level "KH" performance level for DD-2, DTS=1 and BYS= 6 values. The pushover curves of model buildings are given in Figure 2. The pushover curves of the two model buildings are given over relative values. Therefore, there is a difference in inelastic seismic forces depending on the building weights.

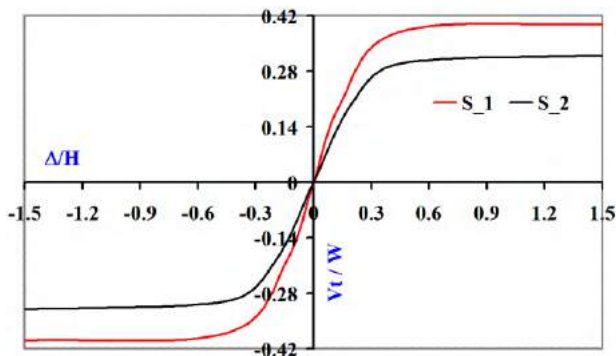


Figure 2. Pushover curves of model buildings

However, since the number of columns and shear walls per unit area is slightly higher in the S_1 model, it is normal to see a certain amount of increase in the horizontal stiffness value. This situation directly affects the building target displacement request and the building period. In order to analyze the structural behavior of both model buildings, the variation of storey shear forces and relative storey/total storey displacements are given in Figure 3.

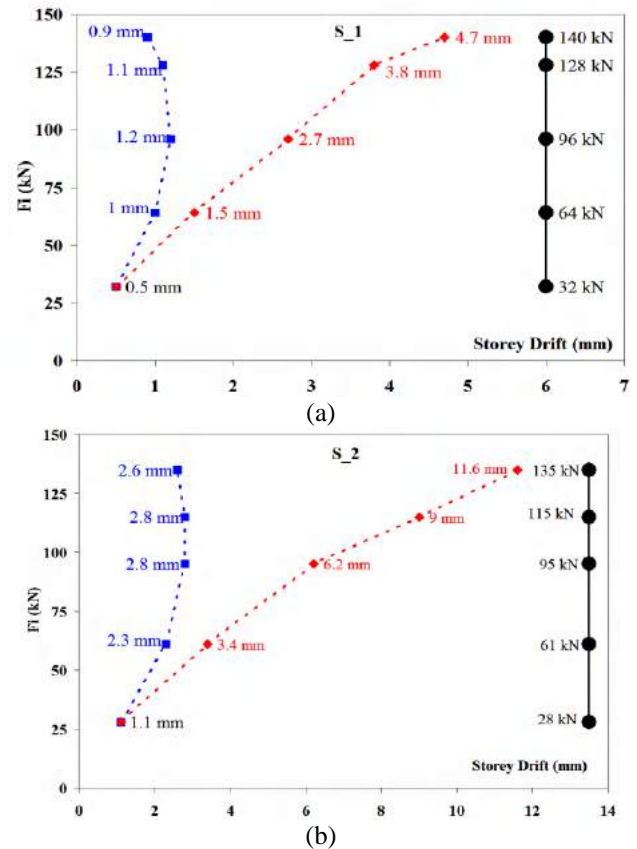


Figure 3. The relative/total storey displacements for (a) S_1 and (b) S_2

Table 5. Some analytical results of the models

Model ID	Wt (kN)	Sa(g) (m/s ²)	Tx (sec.)	dep(max) (mm)	Performance Level
S_1	14320	0.159g	0.61	0.129	KK
S_2	4250	0.462g	0.47	0.153	KK

Damages that may occur on structural system elements due to the effect of earthquake forces are directly related to displacements at storey levels. Depending on the storey displacements, the curvature and rotation angles that will occur in columns, beams and RCSs reveal the damage situation. RCS elements have positive effects on the seismic performance and structural behavior of the structure, as they are rigid and have higher shear strength than column elements. However, this is only possible by placing on regulars, homogeneous and suitable axes in the building plan. Some of the structural results obtained from the analyzes are summarized in Table 5. Only x-direction static pushover analysis of model buildings was performed. Model buildings are exposed to one-way pushover analysis equal to the target displacement amount. At this stage, the damage levels of the elements are as given in Figure 4.

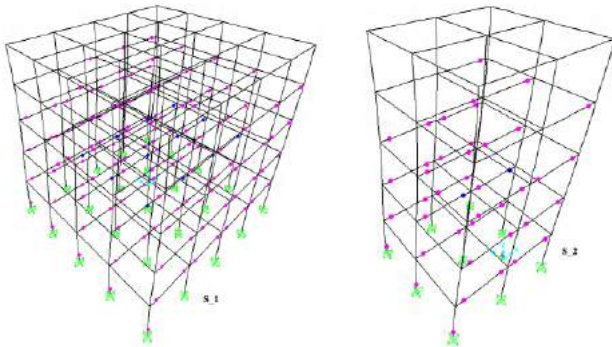


Figure 4. The damage levels of the load-carrying system elements

In TBSC, damage limits are defined in detail according to the material type, cross-section properties, rotational and curvature capacities of the elements. As a result of the analysis, the damage level in columns, beams and RCS elements was determined at the minimum level, which is the lowest level. This is defined as a "limited damage zone" (SHB) in TBSC. As a result of the analysis of the model buildings, almost no damage occurred to the elements. In Table 6, damage levels of columns, and RCS and building performance results are summarized.

5. Conclusions

It is aimed to provide the minimum "KH" performance level according to the DD-2 design earthquake action of residential and office type buildings in determining the seismic target performance levels of the RC buildings. In the study, nonlinear seismic analysis of two model buildings with the same soil parameters but different structural features was performed. Models were made by considering the most critical RCS and column cross-section dimensions according to the design principles foreseen for the RC shear walled-framed systems in the seventeenth chapter of TBSC. According to the data obtained as a result of the analysis of the models, it has been seen that the buildings provide the targeted seismic

performance by considering the predicted column and RCS dimensions. In particular, the rotational and curvature values of the column elements remain at a very limited level due to the high shear capacity of RCSs. It is understood that the boundary conditions proposed in TBSC for the preliminary design of RC shear walled-frame systems are quite sufficient. It can be said that very good results can be obtained, especially in terms of limiting lateral displacements. It is a fact that the building has been kept safe in many respects so that these preliminary design rules can be used, which is effective in obtaining these results. In the study, very few building models were designed and analyzed. These variations can be multiplied by adding many parameters such as S_{DS}, DD, number of storey, number of spans etc. In this case, the consistency of the proposed design rules can be better understood. It will be more accurate to make a large number of analyzes for different values of all parameters in the design principles foreseen with a more comprehensive research.

Table 6. Analytical results of the models

Model ID	Column and RCS ID	Damage Level	Seismic Perf.
S_1	Cc	SBH	KK
	Sc	SBH	
	Mc	SBH	
	Pc	SBH	
S_2	Cc	SBH	KK
	Sc	SBH	
	Pc	SBH	

References

- Akalp, A., Orakçal, K., Luş, H., İlki, A., & Ersoy, U. (2015). Az ve orta yükseklikte betonarme binaların öntasarımı için basitleştirilmiş bir yöntemin değerlendirilmesi. *Eighth National Conference on Earthquake Engineering*, Mayıs 11-15, Istanbul, Turkey.
- Dilmaç, H. (2020). Preliminary assessment approach to predict seismic vulnerability of existing low and mid-rise RC buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 3101-3133.
- Ersoy, U. (2014). Depreme dayanıklı betonarme binaların öntasarımı için basit bir yöntem. *TMMOB İMO Teknik Dergi*, 24(4), 6559-6574.
- FEMA 450 (2003). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA 450, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC: U.S.
- Turkish Earthquake Code (TEC), (2007). The Minister of Public Works and Settlement. Ankara, Turkey.
- Tekeli, H., Dilmaç, H., Demir, F., Gençoğlu M., & Güler, K. (2017). Shear stress indicator to predict seismic performance of residential RC buildings. *Computers and Concrete*, 19(3), 283-29.

- Turkish Building Seismic Code (TBSC), (2018). Ministry of Interior, Disaster and Emergency Management Presidency, Ankara, Turkey.
- Yakut, A. (2004). Preliminary seismic performance assessment procedure for existing RC buildings. *Engineering Structures*, 26(10), 1447–1461.
- Yakut, A., Gülkan, P., Bakır, B.S., & Yılmaz, M.T. (2005). Re-examination of damage distribution in Adapazarı, Structural considerations. *Engineering Structures*, 27(7), 990–1001.



Kompresör ve Türbin Palelerinin Fikstür Tasarımlarının Parametrik Analiz ve Sonlu Eleman Simülasyonları ile İncelenmesi

Ozgur Poyraz^{*1}, Nurullah Yandi²

^{1*} Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9892-5738), ozgurpoyraz@eskisehir.edu.tr

² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0509-7513), nurullahyandi@eskisehir.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.989033)

ATIF/REFERENCE: Poyraz, O. & Yandi, N. (2021). Kompresör ve Türbin Palelerinin Fikstür Tasarımlarının Parametrik Analiz ve Sonlu Eleman Simülasyonları ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 97-105.

Öz

Servis ömürleri boyunca aşınma, korozyon, yorulma ve sürünme gibi pek çok sayıda olumsuz koşula maruz kalan kompresör ve türbin paleleri, ayrıık tasarlanırlar ve türbin disklerine özel kök geometrileri ile bağlanırlar. Kaba haldeki paleler genellikle döküm yoluyla üretilir ve yüksek hassasiyet gerektirdiklerinden çoğunlukla sürünme ilerlemeli taşlama ile işlenir. Söz konusu palelerin gerek işleme gerekse ölçüm aşamasında sabitlenmesi için sıkça uygulanan yöntemlerden biri, pimli mekanik fikstürler ile bağlamadır. Geometrik açıdan oldukça ince ve maliyet açısından oldukça pahalı olan paleleri sabitlemek için kullanılacak pimli fikstürlerin yanlış tasarlanması ve/veya uygulanması, bu hassas parçalara zarar verebilir ve hatta ıskartaya çıkmalarına sebep olabilir. Geçmişte yapılan ve literatürde yayınlanan çalışmalar kapsamında farklı pim yerleşim ve konfigürasyonlarının ve de uygulanan bağlama kuvvetlerinin ince ve hassas olan türbin palelerindeki etkileri gözlemlenmektedir. Bununla beraber aynı araştırmacılar tarafından aynı yaklaşımla yapılan ve söz konusu değişkenlerin sonuca tesirleri ve birbirleri ile etkileşimlerini sistematik olarak ele alan yayınlar açısından eksiklik bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada kompresör ve türbin palelerinin fikstür tasarımlarının sistematik analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda güncel uçak motorları ile uyumlu ölçülere sahip iki adet pale geometrisi oluşturulmuş ve bu paleleri sabitleyen pimlerin yerleşimleri ile bağlama kuvvetlerini dikkate alan, Taguchi yöntemi ile uyumlu deney tasarımları planlanmıştır. Deney tasarımında planlanan farklı senaryolar sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiş ve sonuçlar üzerinde çok değişkenli varyans analizleri (MANOVA) yapılmıştır. Yapılan farklı analizlerde ulaşılan ve birbirleri ile uyumlu olan sonuçlara göre, palelerin fikstüre sabitlenmesi sırasında uygulanan kuvvet, pale boyutu ve pale uç bölgesindeki pim yerleşiminin deformasyonlar açısından kayda değer etkisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Pale İmalatı, Fikstür Tasarımı, Sonlu Elemanlar Metodu, MANOVA

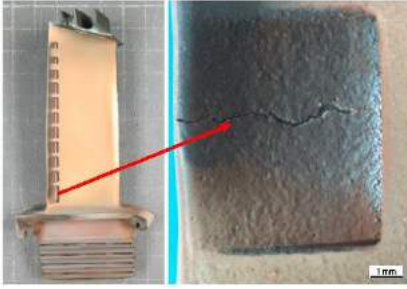
Investigations on the Fixture Designs of Compressor and Turbine Blades with Parametric Analysis and Finite Element Simulations

Compressor and turbine blades are designed separately and connected to the turbine discs with special root geometries. The raw blades are often produced by casting and machined with creep feed grinding, since they require high precision. One of the most frequently applied methods for fixing these during the machining, is fastening these with mechanical pinned fixtures. Improper design or application of these fixtures during clamping of very thin and costly blades can damage these sensitive parts and even cause them to be scrapped. Within the scope of the previous studies, the effects of different pin layouts and configurations, as well as the applied clamping forces are observed. However, the influence of these variables on the results and their interactions with each other were not researched. In this study, systematical analyzes on the fixture designs of the compressor and turbine blades are carried out. In this context, two blade geometries with dimensions compatible with current aircraft engines were created, and design of experiments compatible with the Taguchi method were planned, considering the layout of the pins and the clamping forces. Different scenarios planned in the experimental design were examined with the finite element method, and multivariate analyzes of variance (MANOVA) were performed on the result. According to the results obtained in different analyzes and which are compatible with each other, it has been observed that the force applied during the fixing of the blades to the fixture, the blade size and the pin placement in the blade tip region have significant effects on deformations.

Keywords: Blade Manufacturing, Fixture Design, Finite Element Method, MANOVA

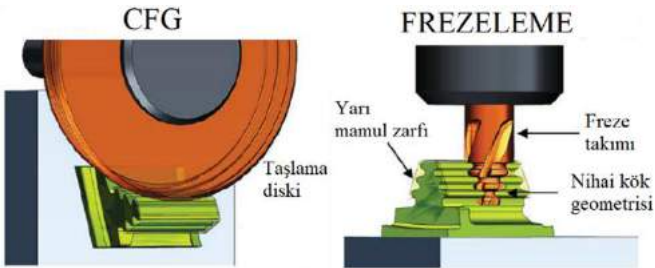
1. Giriş

Temelde içeri aldıkları havayı kompresör modülünde sıkıştıran ve yakıt karışımı ile yanma odasında yaktıktan sonra türbin modülünde genişletmek sureti ile iş elde eden uçak motorları çok yüksek dönme hızı, sıcaklık ve basınç altında çalışmaktadır [1]. Gaz akışımı sağlamak için çok sayıda kanatçık geometrilili parçanın kullanıldığı uçak motorlarında, söz konusu parçalar servis ömürleri boyunca aşınma, korozyon, yorulma ve sürünme gibi pek çok sayıda olumsuz koşula maruz kalmaktadır [2]. Aktarılan koşullar sebebi ile belirli periyotlarla değiştirilmesi gereken bu parçalar, değişim ve bakım kolaylığını sağlamak adına üzerinde döndükleri diskten ayrı tasarlanırlar ve pale (İng. Blade) terimi ile adlandırılırlar (Şekil 1) [3].



Şekil 1. Örnek bir türbin palesi ve hasar detayı [3] (Creative Commons Attribution 4.0 Lisansı altında kullanılmıştır).

Çoğunlukla yüksek basınç kompresörü (İng. High Pressure Compressor – HPC), yüksek basınç türbini (İng. High Pressure Turbine – HPT) ve alçak basınç türbini (İng. Low Pressure Turbine – LPT) modüllerinde kullanılan paleler türbin disklerine özel kök geometrileri ile bağlanırlar [4]. Yarı mamul olarak tek kristalli hassas döküm veya yönlendirilmiş katılaşma ile döküm yöntemleri ile üretilen palelerin kök geometrileri, daha sonra sürünme ilerlemeli taşlama (İng. Creep Feed Grinding – CFG), form frezeleme veya tel erozyon (İng. Wire Electrode Discharge Machining – WEDM) ile hassas ölçüye getirilmektedir (Şekil 2) [5]. Burada sözü edilen hassasiyet, pale köklerinin disklerle eşleşen yüzeyleri için parça referans noktasına kıyasla toplamda ± 0.010 mm tolerans seviyeleri ile ifade edilmektedir [6].



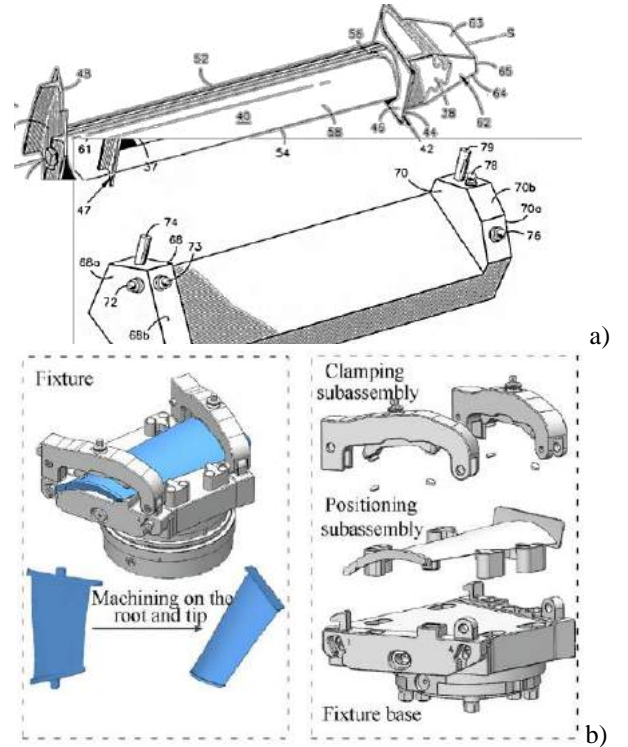
Şekil 2. Pale köklerinin CFG ve frezeleme ile işlenmesi [5].

1.1. Fikstür Tasarımları

İstenen hassasiyetin sağlanması için seçilen işleme yöntemine ait proses parametrelerinin uygun belirlenmesine ek olarak parçanın hareket etmeyecek ve/veya deforme olmayacak şekilde sabitlenmesi gerekmektedir [7]. Bunlara ilaveten kullanılan fikstürün üretkenlik, takım ömrü ve az tezgâh hareketi ve buna bağlı az işleme süreleri gibi hususlara katkıda bulunması beklenmektedir [8]. Söz konusu olan parçalar kompresör ve türbin paleleri gibi ince cidarlı geometriler olduğunda bu durum daha fazla önem kazanmaktadır. Kompresör ve türbin palelerinin

işlenmesi için kullanılan fikstürler iki grupta toplanabilir ve bunlar sırası ile kapsül içi fikstürler ile mekanik pimli fikstürlerdir. Kapsül içi fikstürlerde, sınırları belirli bir hacim içine doldurulan düşük ergime noktalı bir alaşım (kalay-bizmut) havuzuna pale yerleştirilir ve alaşım tekrar katılaştığında pale sabitlenmiş olur [9]. Bu yöntem her ne kadar titreşim sönmüleme gibi bazı avantajlar sunsa da ergitme ve katılaşmanın uzun sürmesi, hassas dökümle üretilmiş pale yüzeyinde malzeme kalıntısı bırakma ve kalite kusuru oluşturma risklerine sahip olması, ve de iş güvenliği-çevre konularında ek önlem ve maliyet gerektirmesi sebepleri ile daha az tercih edilmektedir [9], [10].

Mekanik pimli fikstürler, kapsül içi fikstürlerin dezavantajlarından kaçınmak için tercih edilebilecek ikinci gruptur. Mekanik pimli fikstürler temelde pale yüzeyine teğet olarak dokunan küresel uçlu pimlerin belirli bir bağlama kuvveti ile parçaları sabitlediği düzeneklerdir. Bu fikstürler uluslararası enstitüler ve kurumlar tarafından yayımlanan iyi uygulama kılavuzlarında, ürünlerin ölçüm ve diğer sebeplerle konumlarının tam olarak kısıtlanabilmesi ve serbestlik derecesinin sıfırlanması için gerekli olan 3-2-1 kuralını pimleri bu doğrultuda gruplandırarak sağlarlar [11], [12]. 3-2-1 prensibi bir düzlem, bir doğrultu ve bir konum belirtmektedir, ve palelere uygulandığı takdirde 3 nokta akış yüzeyi üzerinden, 2 nokta hücum veya firar kenarlarından ve 1 nokta da platform veya uç bölgelerinden seçilebilir. Şekil 3'te endüstri ve akademiden aktarılan prensibin uygulandığı fikstür tasarımları görülmektedir.



Şekil 3. Örnek mekanik pimli fikstür tasarımları: a) [10], b) [13] (Creative Commons Attribution 4.0 Lisansı altında kullanılmıştır).

1.2. Karşılaşılan Zorluklar ve Fikstürlerin Analizi

Mekanik pimli fikstürler her ne kadar kapsül içi fikstürlerin yarattığı dezavantajları giderse de bunları kullanırken dikkat edilmesi gereken başka hususlar bulunmaktadır. Bu kapsamda pimlerin, palenin yüzeyleriyle tam olarak nasıl konumlandırılacağı, ince cidarlı parçanın izin verilen deformasyonlar dahilinde nasıl sıkıca tutulacağı ve palenin

yüksek tolerans isterlerini sağlarken nasıl etkin bir şekilde işleneceği gibi bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Sıralanan zorlukları aşabilmek için deneysel testler tek karşı önlem olarak kullanıldığında maliyetli olabilir. Bu bağlamda, deneysel maliyetleri düşürmek için Sonlu Elemanlar Yöntemi (İng. Finite Element Method- FEM) ile analiz ve simülasyonlar yapılabilir. Bununla birlikte, FEM analiz ve simülasyonlarının güvenilirliği için doğru girdilerin sağlanması ve sonuçların bilinçli bir şekilde yorumlanması önemlidir.

FEM ile gerçekleştirilen analiz ve simülasyonlarda en sık irdelenen durumların başında yapısal deformasyonlar gelmektedir. Bu doğrultuda palelerin mekanik pimli fikstürlere sabitlenmesi ve/veya sonrasında işlenmesi sırasında ortaya çıkan kuvvetlerin parçada oluşturduğu deformasyon seviyeleri araştırılmaktadır. Bunlar araştırılırken malzemelerin mekanik (elastik ve/veya plastik) özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır [9], [13], [14]. Malzeme özelliklerine ek olarak dikkat edilmesi gereken diğer hususlar arasında sınır koşulları (İng. Boundary Conditions – BC) ve ağ elemanlarının (İng. Mesh Elements) tipleri ile boyutları bulunmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde sıralanan hususlar arasından ağ elemanları hakkında farklı araştırmacıların benzer yorumlarına ulaşılmaktadır [9], [13], [14], [15]. Buna göre serbest yüzey geometrisine sahip palelerin FEM ile analizi için farklı geometrilere adaptasyon kolaylığı olan dört yüzlü (İng. Tetrahedral) elemanların kullanımının faydalı olduğu raporlanmaktadır. Buna ek olarak eleman boyutlarının doğru seçim gerekliliği de vurgulanmaktadır [14], [16]. Ağ elemanları ile ilgili ulaşılan ortak yargı yazık ki sınır koşulları için geçerli değildir. Bu duruma bir örnek vermek gerekirse bağlama kuvvetlerinin farklı araştırmacılar tarafından çok farklı seviyede kullanıldığı aktarılabilir. Benzer farklılık kesme kuvvetlerinde de mevcuttur (Tablo 1). Bu farklılıkların sebepleri arasında parça ve fikstür malzemesi, işleme yöntemi, işleme parametreleri gibi çok sayıda neden sayılabilir.

Tablo 1. Mekanik pimli fikstürlere uygulanan kuvvetler.

Referans No.	Bağlama Kuvveti (N)	Referans No.	Kesme Kuvveti (N)
[9]	100-400	[7]	1000
[15]	1445	[9]	80-450
[17]	584	[14]	1600-1800
[18]	500-3000	[15]	3818
[19]	110	[17]	332-827
[20]	200	[22]	250-600
[21]	673	[23]	2800
-	-	[24]	100-1300

Farklılıkların görüldüğü diğer bir alan da pimlerin yerleşimleridir. Bu alanda çoğu araştırmacı genel olarak 3-2-1 kuralına uyum sağlasa da, akış yüzeyi üzerindeki ana bağlama fonksiyonunu yerine getiren 3 pimin yerleşimini farklı yapmaktadır [8], [10], [15], [18]. Burada bazı araştırmacılar akış yüzeyindeki pimleri eşit aralıklarla planlarken, diğerleri 2 pimi pale ucuna diğer 1 pimi ise pale platformuna yakın konumlandırabilmektedir [8], [10], [15], [18].

1.3. Yenilikçi Yön

Gerek tasarımlar gerekse analizlerin sınır koşullarındaki bu farklılık her yeni pale tasarımı için çok sayıda deneme yanılma ihtiyacı doğurmaktadır. Ortalama bir ticari ve/veya askeri uçak motorunda kompresör ve türbin modüllerindeki toplam kademe

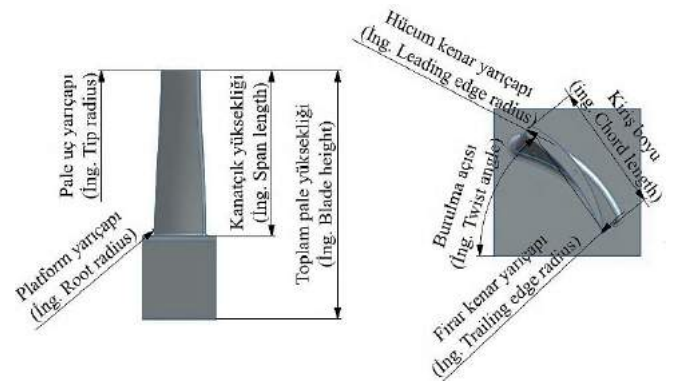
sayısının ve buna bağlı olarak da pale tasarımlarının onlarca çeşitte olduğu düşünüldüğünde, maliyetleri de yüksek olan bu parçalar için uygulanabilir bir durum sağlanamamaktadır. Bu sebeple aynı araştırmacı tarafından aynı inceleme yöntemi ile farklı tasarım, yerleşim ve bağlama kuvvetlerinin etkisinin irdelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu makalede güncel ticari uçak motorları için ölçüleri uyumlu iki farklı pale geometrisi oluşturulmuştur. Inconel 718 malzeme özellikleri üzerinden değerlendirilen paleler için hassasiyet analizleri ile uygun sonlu eleman boyutları belirlenmiştir. Daha sonra literatürün genelini temsil edecek farklı pim yerleşimleri pale geometrisinin sınırlarına göre oluşturulmuş ve bunlara da farklı seviyelerde bağlama kuvvetleri uygulanmıştır. Oluşturulan farklı senaryolar için deney tasarımı yapılmış ve L18 ($2^1 \times 3^7$) ortogonal dizisine uyarlanmıştır. Ortogonal dizideki senaryolara göre gerçekleştirilen sonlu elemanlar yöntemi simülasyonlarının sonuçları çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) tekniği ile değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Pale Geometrilerinin Oluşturulması

Bu çalışmada irdelenen, analiz ve simülasyonları gerçekleştirilen pale geometrilerinin güncel uçak motorlarını yansıtması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda literatür araştırması yapılmış ve güncellik hedefini sağlarken geometrilerin oluşturulması için gerekli ölçüleri de içeren bir kaynak tespit edilmiştir [25]. Tespit edilen kaynaktaki uçak motoru turbofan tipinde olup, 101.46 kN itki sağlayan Fransız-Rus ortak yapımı PowerJet SaM146 modelidir [25]. Pale geometrileri oluşturulurken ilgili kaynaktaki gaz akış yolu için verilen kanatçık yükseklikleri, kanatçık genişlikleri, hücum kenar yarıçapı, firar kenar yarıçapı ve burulma açısına ait ortalama değerler kullanılmış, kök kısmı ise işleme öncesindeki bir dolu geometri ile temsil edilmiştir [25]. Pale geometrileri Siemens NX 12 yazılımında modellenerek oluşturulmuştur. Pale geometrisi için temel terimler Şekil 4'te ve oluşturulan palelerin ölçüleri Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 4. Pale geometrileri için temel terimler

Tablo 2. Pale ölçüleri.

Ölçü Adı	Pale 1 Kısa Pale	Pale 2 Uzun Pale
Pale uç yarıçapı	1560 (mm)	1776 (mm)
Kanatçık yüksekliği	90 (mm)	125 (mm)
Toplam pale yüksekliği	135 (mm)	170 (mm)
Platform yarıçapı	2 (mm)	2 (mm)
Ortalama giriş boyu	35 (mm)	35 (mm)
Hücum kenar yarıçapı	1.6 (mm)	1.6 (mm)
Fırar kenar yarıçapı	0.4 (mm)	0.4 (mm)
Ortalama burulma açısı	50°	50°

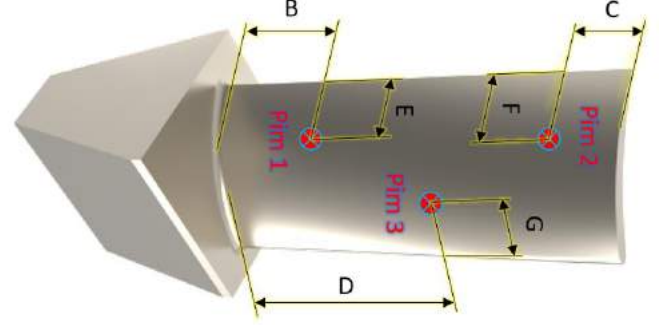
2.2. Deney Tasarımı

Bu makale kapsamında literatürde eksikliği bulunan ve değiştirildiği takdirde sonuca etkisi irdelenmemiş olan mekanik pimli fişstürler için yerleşim senaryoları ile kesme kuvvetlerinin anlaşılmasına yönelik bir deney tasarımı (İng. Design of Experiment – DoE) planlanmıştır.

Bu amaçla akış yüzeyine temas edecek pimlerin başlangıç konumları ortalama olarak alınmış ve ilk aşamada 2 pim in akış yüzeyi üzerinde fırar kenarına yakın bir bölgede, diğer 1 pim in ise akış yüzeyi üzerinde hücum kenarına yakın bir bölgede olduğu kabul edilmiştir. Sonrasında söz konusu üç pim in yerleri buldukları bölgede kanatçık yüksekliği ve giriş doğrultusunda sistematik olarak değiştirilmiştir. Değişim basamakları, önerilen

yöntemin başka boyutlu palelere de uygulanabilmesi için % (oran) olarak girilmiştir. Buna göre her üç pim in de yükseklik veya genişlik doğrultusunda kendine yakın kenara olan uzaklığının o kesitteki toplam yükseklik veya genişliğe oranı esas alınmıştır. Pimlerin yerleşimine ek olarak farklı pale boyu ve farklı bağlama kuvveti seviyeleri de değişken olarak belirlenmiştir.

Şekil 5'te pim yerleşimlerinde esas alınan mesafe oranları şematik olarak gösterilmektedir. Tablo 3'te deney senaryo/sembolleri, kontrol faktörleri ve seviyeleri sunulmaktadır. Tablo 4'te deney tasarımlarında esas alınan L18 ($2^1 \times 3^7$) ortogonal dizisi verilmektedir.



Şekil 5. Pale geometrisi üzerinde pim yerleşimleri.

Tablo 3. Deney tasarımı için kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Sembol	Kontrol Faktörü	Birim	Seviye		
			1	2	3
A	Pale boyu	-	Kısa	Uzun	
B	1. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale yüksekliğine oranı	%	12.5	25	37.5
C	2. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale yüksekliğine oranı	%	12.5	25	37.5
D	3. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale yüksekliğine oranı	%	37.5	50	62.5
E	1. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale genişliğine (giriş boyu) oranı	%	12.5	25	37.5
F	2. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale genişliğine (giriş boyu) oranı	%	12.5	25	37.5
G	3. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale genişliğine (giriş boyu) oranı	%	12.5	25	37.5
H	Bağlama kuvveti	N	125	250	375

2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizler

Literatürde yapılan çalışmalarda fişstürlerin bağlama kuvvetlerinin belirlenmesi için yapılan bazı statik ve mukavemet hesaplamaları bulunmaktadır [7], [17], [19]. Bu kapsamda basit geometri (örneğin prizmatik) cisimlerin işlenmesinde X, Y ve Z eksenlerindeki kuvvetlerin bileşikleri ile yine aynı yönler etrafındaki döner eksenlerde oluşan momentlerin bileşiklerinin 0'a eşitlenmesi yaygın bir yöntemdir. Bu yöntemde oluşan işleme kuvveti statik sürtünme katsayısına bölünmekte ve tasarımcı tarafından belirlenen bir güvenlik faktörü ile çarpılmaktadır. Elde edilen bu değer ve denge denklemleri sayesinde her pim in ihtiyaç duyduğu bağlama kuvveti ortaya çıkmaktadır.

Pale parçaları ise serbest yüzeyli karmaşık geometrilere sahip oldukları için bu yapılamamaktadır. Bunun yerine literatürde

uygulanan farklı sonlu elemanlar yöntemi esaslı hesaplamalar arasında pimleri modelleyerek (rijit veya esnek) pimden dolayı şekilde yüzeye kuvvet etki ettirmek, yüzeye yer değiştirme tanımlamak veya direk olarak yüzeydeki bağlantı noktalarına kuvvet uygulayarak sonuçları elde etmek bulunmaktadır [14], [17], [19].

Bu çalışmada da bağlama kuvvetlerini direk yüzeye uygulamak ve bu sayede temas problemlerinin hesaplaması sebebi ile ortaya çıkabilecek uzun çözüm sürelerinden tasarruf sağlamak hedeflenmiştir. Genellikle küresel olarak tasarlanan ve pale yüzeyine teğet dokunan pimler için noktadan kuvvet uygulamak tekillik oluşturabileceği için pimlerin temas ettiği yerler 0.5 mm çapında daireler ile temsil edilmiştir. Bu daireler için öncelikle pimlerin deney tasarımında verilen faktörlere göre merkez konumları belirlenmiştir. Bu merkez konumlarından

geçen ve o noktalarda yüzey normaline dik olan düzlemler oluşturularak, daireler bu düzlemlerin üzerinde çizilmiştir. Son aşamada yüzeyler bu daireler ile bölünerek sınır koşulları pimleri temsil eden yüzeylerden uygulanmıştır (Şekil 6-a). 3-2-1 yönteminde kullanılan ve pale kenarları ile platforma denk gelen diğer pimler için herhangi bir kuvvet uygulanmamış, yalnızca o pimlerin fikstür tasarım prensibine göre yapacağı durdurucu etki, ilgili yönlerdeki yer değiştirme izinleri 0 girilerek yansıtılmıştır. Uçak motorlarında ve palelerde kullanım oranı yüksek olduğu için seçilen Inconel 718 parça malzemesinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerde esas alınan özellikleri Tablo 5'te verilmektedir. Verilen malzeme özellikleri Ansys Workbench malzeme kütüphanesinden alınmıştır.

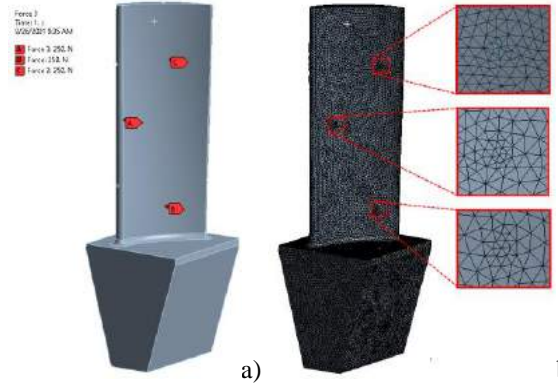
Tablo 4. L18 ($2^1 \times 3^7$) ortogonal dizisi.

Deney No.	Kontrol Faktörleri							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

Tablo 5. Inconel 718 malzeme özellikleri.

Sıcaklık (°C)	Elastik Modül (MPa)	Poisson Oranı (-)	Kayma Modülü (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
21	2.05e+05	0.28	78846	648
537	1.52e+05	0.3	59375	558
815	1.1e+05	0.323	41572	338
982	55000	0.368	20102	90
1093	34000	0.4	12143	30

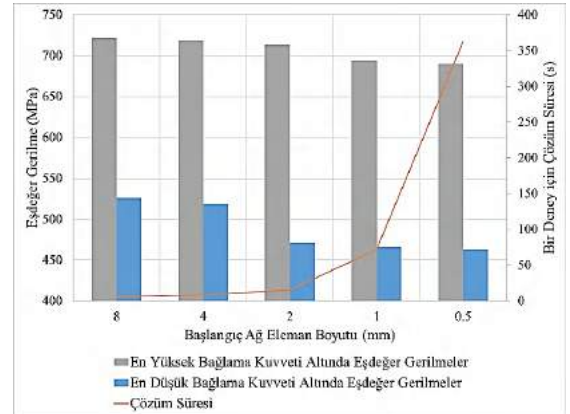
Analizlerin gerçekleştirilmesinin ilk aşamasında ağ elemanları için hassasiyet çalışmaları yapılmış ve doğru eleman tipi ile doğru eleman boyutu bulunması hedeflenmiştir. Eleman tipi olarak geçmiş literatürdeki araştırmacıların, geometrik adaptasyon kabiliyeti sebebi ile önerdiği dört yüzlü elemanlar seçilmiştir. Eleman boyutu olarak değişken boyut seçilmiştir ve bu sayede geometrik unsurların en geniş olduğu yerde seçilen başlangıç boyutu sağlanmak üzere, daha detay unsurlara yaklaşıldıkça boyutun adaptif olarak küçülmesi sağlanmıştır (Şekil 6-b).



Şekil 6. a) Sınır koşulları, b) Değişken ağ eleman örgüsü.

Elemanlar için seçilen başlangıç boyutları sırası ile 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm ve 0.5 mm değerindedir. Aktarılan malzeme özellikleri, sınır şartları ve ağ eleman boyut seçenekleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizlerin gerçekleştirildiği iş istasyonu bilgisayar her biri 3.40 GHz hızda 8 çekirdekli bir işlemciye, 96 GB rastgele erişim belleğine ve kendine ayrılmış 8 GB bellekli bir grafik işlemci ünitesine sahiptir.

Yapılan analizlerde elde edilen eşdeğer gerilme değerleri, toplam deformasyon değerleri ve bilgisayar çözüm süreleri için optimum nokta tespit edilmiştir. Buna göre başlangıç ağ eleman boyutları 8 mm değerinden 1 mm değerine düşene kadar eşdeğer gerilme ve toplam deformasyonda kayda değer bir değişim olmaktadır. Bu boyuttan sonra ise sonuçlarda gözlemlenen değişim minör seviyededir (Şekil 7).



Şekil 7. Ağ elemanı boyutları için hassasiyet analizleri.

Bu sebeple başlangıç ağ eleman boyutu olarak 1 mm seçilmiştir. Bu seçim ağ elemanı kalite istatistikleri ile de desteklenmiştir. Ansys Workbench yazılımında gerçekleştirilen istatistiklere göre ortalama sayısı 660000 adet olan elemanların %75'inden daha fazlası için kalite ve farklı eleman kenarları için en/boy oranı 0.9'un üzerindedir. En yüksek değer 1.0 olduğu göz önüne alınarak kabul edilebilir bir seviyede olduğu teyit edilmiştir. Atanan malzeme özellikleri, uygulanan sınır koşulları ve hassasiyet analizleri sonucunda belirlenen ağ eleman boyutlarına uygun olarak Tablo 4'teki tüm kombinasyonlar için sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

Sonlu elemanlar yöntemi ile Tablo 4'e göre gerçekleştirilen analizlerin sonuçları Tablo 6'da verilmektedir. Tabloda paleler üzerindeki deformasyon dağılım grafiği ile deney numarası, en fazla deformasyon değeri ve en fazla gerilme değeri sunulmuştur.

Tablo 6. 18 adet deney için sonlu elemanlar yöntemi ile analiz sonuçları.

Deneysel Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9
En Yüksek Eşdeğer Gerilme (MPa)	233	473	650	745	218	487	702	246	420
En Yüksek Deformasyon (mm)	0.0082	0.0394	0.0499	0.0352	0.0128	0.0297	0.0391	0.0166	0.0162
Deformasyon Dağılım Grafiği									
Deneysel Numarası	10	11	12	13	14	15	16	17	18
En Yüksek Eşdeğer Gerilme (MPa)	275	554	568	619	686	210	459	621	208
En Yüksek Deformasyon (mm)	0.0412	0.0718	0.0473	0.0974	0.0449	0.0120	0.0482	0.0287	0.0062
Deformasyon Dağılım Grafiği									

Tablo 3'te verilen kontrol faktörleri ve seviyelerinin esas alındığı, Tablo 4'te verilen ortogonal diziyeye uygun şekilde gerçekleştirilen ve Tablo 6'da sonlu elemanlar analizi ile elde edilen en yüksek deformasyon sonuçlarının sunulduğu deney tasarımı için Minitab yazılımında Taguchi ve çok değişkenli varyans analizleri (MANOVA) gerçekleştirilmiştir. Analizlerde pale geneli için verilen en yüksek deformasyon değerine ek olarak pale kökü ve pale ucunda ulaşılan en yüksek deformasyon değerleri de genel durumun daha iyi irdelenebilmesi için ortalamalara dahil edilmiştir.

Deneylerden elde edilen uzaklaşma ve verim sonuçları sinyal/gürültü oranına (İng. Signal/Noise - S/N) çevrilerek değerlendirme yapılmıştır. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılmayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Tablo 7'de kontrol faktörlerinin S/N cinsinden etkinlik değeri verilmektedir. Burada kullanılan model "nominal en iyi" kabulü yapan modeldir ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$).

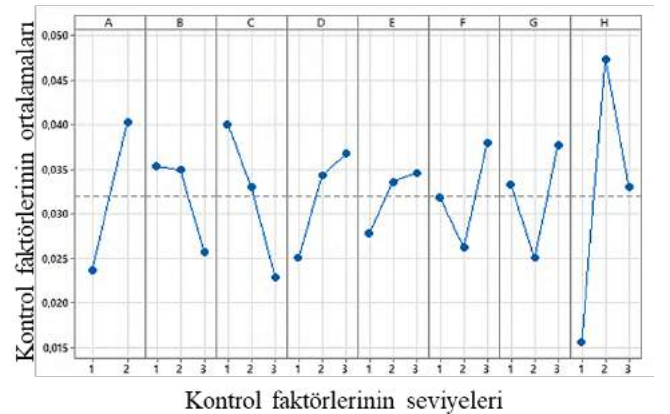
Tablo 7. Kontrol faktörlerinin S/N cinsinden etkinlik değeri.

Seviye	A	B	C	D	E	F	G	H
1	15.3	14.9	12.6	20.0	18.0	17.0	17.4	16.9
2	16.2	15.2	14.4	12.9	16.1	19.3	13.8	16.9
3		17.1	20.2	14.2	13.1	10.9	16.0	13.4
Fark	0.9	2.2	7.7	7.1	4.9	8.4	3.6	3.5

Taguchi yöntemini esas alan analizlerden elde edilen diğer bir bulgu da kontrol faktörlerinin ortalamalarının etkinlik değeridir.

Bu da Tablo 8'de gösterilmektedir. Tabloya ek olarak farklı kontrol faktörlerinin farklı seviyelerindeki eğilimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kontrol faktörlerinin ortalama etkinlik değeri Şekil 8'de grafik halinde sunulmuştur.

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen son değerlendirme çok değişkenli varyans analizleri (MANOVA) ile yapılmıştır. Minitab yazılımı ile gerçekleştirilen analizlerde "Pillai kriteri" kullanılarak F ve P değerleri hesaplanmıştır. MANOVA analizleri ile farklı faktörler için farklı modellerle gerçekleştirilen hesaplama sonuçları Tablo 9'da verilmektedir.



Şekil 8. Kontrol faktörlerinin etkisi.

Gerek Taguchi yöntemini esas alan gerekse MANOVA analizleri ile ilgili detaylı bilgiler ve yorumlar, tartışmalar bölümünde sunulmaktadır.

Tablo 8. Kontrol faktörlerinin ortalamalarının etkinlik değeri.

Seviye	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0.02376	0.03536	0.04007	0.02507	0.02786	0.03181	0.03331	0.01571
2	0.04030	0.03492	0.03302	0.03426	0.03361	0.02629	0.02509	0.04729
3	-	0.02580	0.02299	0.03675	0.03461	0.03798	0.03768	0.03308
Fark	0.01654	0.00955	0.01708	0.01167	0.00675	0.01169	0.01259	0.03158

Tablo 9. MANOVA analizleri sonucunda ulaşılan bulgular.

Kontrol Faktörü	B		C		D		E		F		G		H	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Analiz Kriteri														
Pillai's	0.543	0.76	1.525	0.356	0.622	0.713	0.503	0.784	0.623	0.712	1.045	0.507	1.592	0.34
Önem Derecesi	6		2		5		7		4		3		1	

4. Tartışmalar

Farklı pale boyu, farklı pim yerleşim senaryoları ve farklı bağlama kuvveti seviyeleri ile yapılan sonlu eleman analizlerinde, öncesinde gerçekleştirilen eleman boyutu hassasiyeti çalışmaları sayesinde herhangi bir tekillik veya sıra dışı değerle karşılaşmamıştır. Tablo 6'dan da görüleceği üzere palelerin 3-Boyutlu (3B) geometrileri üzerindeki deformasyon dağılımını farklı renklerle gösteren sonuç bantları birbirleri arasında dengeli bir geçiş sergilemektedir. Gerçekleştirilen sonlu eleman analizleri sayesinde fikstür tasarım kriterleri açısından önemli bilgilere ulaşılmıştır. Buna göre 13 numaralı deneydeki şartlar sağlandığında en yüksek deformasyon (0.0974 mm) ve 18 numaralı deneydeki şartlar sağlandığında en düşük deformasyon (0.0062 mm) seviyesi yakalanmaktadır. Kısa palede uygulanan farklı senaryoların deformasyon ortalaması 0.027456 mm iken uzun palede uygulanan farklı senaryoların deformasyon ortalaması 0.044189 mm değerindedir. Bu anlamda, sadece sonlu elemanlar analizlerini dikkate alarak pale boyutlarının deformasyon üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Diğer bir faktör olan bağlama kuvvetinin de deformasyon üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Buna göre bağlama kuvvetinin 125 N ile en düşük seviyede uygulandığı deneylerin deformasyon ortalaması da 0.01617 mm ile en düşük seviyede seyretmektedir. Ulaşılan değerler geçmiş literatür ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir seviyelerdedir. Örneğin, havacılıkta kullanılan diğer bir nikel esaslı alaşım olan CMSX-4'ün araştırıldığı ve deneylerle doğrulandığı bir yayında, deformasyon değerlerinin araştırılan etkenler arasında 0.025 mm ile 0.15 mm arasında değiştiği görülmektedir [14]. Yine yapılan diğer bir çalışmada, ince cidarlı çelik malzemeden olan bir parçanın bağlama sırasındaki deformasyonları incelenmiş ve değer olarak 0.0246 mm seviyeleri tespit edilmiştir [15]. Bununla beraber pale boyunun ve bağlama kuvvetinin diğer faktörlerle etkileşimini anlamak adına diğer analiz sonuçlarını da incelemek faydalı olacaktır. Sonlu elemanlar analizleri sonucunda Von-Mises gerilme kriteri dikkate alınarak elde edilen en yüksek eşdeğer gerilme 745 MPa ile 4 numaralı deneyde ve en düşük eşdeğer gerilme ise 210 MPa ile 15 numaralı deneyde elde edilmiştir. Öte yandan deneylerin genelinde hesaplanan gerilme değerlerinin büyük çoğunluğunun Inconel 718 malzemenin akma dayanımından daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu gerilmelerin oluşturduğu deformasyonlarda, plastik deformasyon şekil değiştirme oranının düşük olacağı öngörülmektedir. Yine de yanlış bir fikstür tasarımı ve bağlama parametresi ile sabitlenen bir palenin işlemeye önce elastik olarak deforme olmuş olması, takım yolunun gitmesi

gereken nominal bölgenin dışını işlemesine neden olacak, ve giriş bölümünde literatür referans alınarak verilen hassasiyetler (± 0.010 mm) elde edilemeyecektir [6].

L18 ($2^1 \times 3^7$) ortogonal dizisindeki deney tasarımları esas alınarak yapılan Taguchi hesaplamaları da kendilerinden önce gerçekleştirilen sonlu eleman analizlerini destekler niteliktedir. Şekil 8'de de sunulduğu üzere pale deformasyonuna etkisi en fazla olan 3 faktör sırası ile H (Bağlama kuvveti), A (Pale boyutu) ve C (2. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale yüksekliğine oranı) faktörleridir. Salt sonlu eleman analizleri ile önemi tespit edilemeyen C faktörünün Taguchi yöntemi ile tespit edilmiş olması çok değerlidir. Şekil 8'de de görüleceği üzere, C faktörü seviyesinin artışı, yani 2. pimin kendine en yakın pale sınırından uzaklaşması deformasyonun azalmasını etkilemektedir.

Araştırmanın son basamağında çok değişkenli bu durum için varyans analizleri gerçekleştirilmiştir. Pillai analiz kriterine göre yapılan analizlerde A faktörü dışındakilerin kendi arasındaki etkileşimi gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebi A faktör seviyesinin diğerlerinden farklı olmasıdır. MANOVA bulguları Tablo 9'da verilmektedir. Tablodaki kolonlarda görülen iki değer arasından "F" değeri MANOVA veya ANOVA analizlerindeki temel istatistiksel değerdir. Bu değer iki veya daha fazla faktörün ortalamasının farklı sonuçları temsil edip etmediğini belirlemek için tüm ortalamaların aynı anda karşılaştırılmasını sağlar. Bir faktörün F değerinin diğer faktörlerden veya varsa Fkritik değerinden büyük olması, ilgili faktörün sonuçlar üzerinde kayda değer etkisi olduğunu gösterir. Kabaca F değerinin tersi olarak düşünülebilecek "P" değeri ise sıfır hipotezinin doğru olduğu varsayılarak, deneyde (F) elde edilen kadar büyük bir sonucun (Fkritik) gözlemlenme olasılığıdır. Düşük P değerleri, sıfır hipotezine karşı güçlü kanıtların göstergeleridir. Tablo 9 aktarılan bilgiler ışığında derecelendirilmiş ve pale deformasyonuna etkisi en fazla olan 3 faktör sırası ile H (Bağlama kuvveti), C (2. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale yüksekliğine oranı) ve G (3. Pimin kendine en yakın pale sınırına uzaklığının pale genişliğine) olarak tespit edilmiştir. Burada A faktörü olmadığı için sıralamada yer almamıştır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada hassas ve maliyetli olan kompresör ve türbin palelerinin fikstür tasarımlarının sistematik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda güncel uçak motorları ile uyumlu ölçülere sahip iki adet pale geometrisi oluşturulmuş ve bu

paleleri sabitleyen pimlerin yerleşimleri ile bağlama kuvvetlerini dikkate alan, Taguchi yöntemi ile uyumlu deney tasarımları planlanmıştır. Deney tasarımında planlanan farklı senaryolar Inconel 718 malzeme için sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiş ve sonuçlar üzerinde çok değişkenli varyans analizleri (MANOVA) yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Bağlama kuvvetleri palelerde görülen deformasyonlarda önemli etkiye sahiptir. Bu durum hem sonlu eleman analizleri, hem Taguchi hesaplamaları hem de MANOVA ile tespit edilmiştir.
- Deformasyonlara etkisi açısından önemli diğer bir faktör ise pale boyutlarıdır. Benzer fikstür tasarım metodolojisi ve bağlama kuvvetlerinin uygulandığı durumda, pale boyutundaki artış toplam deformasyona yansımaktadır.
- 3-2-1 kuralına göre tasarlanan ve pale akış yüzeylerine yerleştirilen üç pim arasından deformasyonda en etkili olanı pale ucuna yakın pimidir. Söz konusu pimin pale köküne doğru yaklaştırılması deformasyonları azaltıcı yönde olumlu etki yapmaktadır.
- Pale genişliği boyunca yerleşimi açısından en etkili pim ise pale akış yüzeylerine yerleştirilen üç pim arasından orta bölgede bulunmaktadır.

6. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı altında ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje destekleri kapsamında 209 programı altında 21LTP026 proje numarası ve "Kompresör ve Türbin Palelerinin İşlenmesine Yönelik Fikstür Tasarım Metodolojisi Geliştirilmesi" adı ile desteklenen proje dahilinde yapılmıştır.

Kaynakça

1. Saraçyakupoğlu, T. (2021). Bir Gaz Türbin Motoru Kompresör PalesininTi6Al4V Alaşımından Eklemeli Üretim Yöntemi ile İmalatı ve Boyutsal Doğrulaması. *Mühendis ve Makina*, 62(702), 151-179.
2. Poyraz, Ö., Yılmaz, O., & Yasa, E. (2014, June). Investigation of Free-Form Surface Reconstruction Techniques for Reverse Engineering of Worn-Out Gas Turbine Blades: A Case Study. In *The 16th International Conference on Machine Design and Production* (Vol. 30).
3. Mevisen, F., & Meo, M. (2019). A review of NDT/structural health monitoring techniques for hot gas components in gas turbines. *Sensors*, 19(3), 711.
4. Naumann, H. G. (1982). Steam turbine blade design options: how to specify or upgrade. In *Proceedings of the 11th Turbomachinery Symposium*. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories.
5. Poyraz, Ö., Ozaner, O.C., & Subaşı, L. (2019). Comparative review on the manufacturing of turbine blade fir-tree roots. In *Proceedings of UTIS 10th International Congress on Machining*.
6. Moneta, G., Jachimowicz, J., & Osinski, J. (2015). Influence of Manufacturing Tolerances on Vibration Frequencies of Turbine Blade. *Machine Dynamics Research*, 38(1).
7. Gameros, A., Lowth, S., Axinte, D., Nagy-Sochacki, A., Craig, O., & Siller, H. R. (2017). State-of-the-art in fixture systems for the manufacture and assembly of rigid components: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 123, 1-21.
8. Snigdha, M., Sandeep, S.C., Swathi, G., Suresh, R., & Hanuma, P. (2017). Design of Fixture for the Manufacturing of Compressor Rotor Blade in Aircraft Engine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Vol 8, pp. 1034-1051.
9. Wang, H., Huang, L., Yao, C., Kou, M., Wang, W., Huang, B., & Zheng, W. (2015). Integrated analysis method of thin-walled turbine blade precise machining. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16(5), 1011-1019.
10. Dwyer, J. P. (2001). U.S. Patent No. 6,186,867. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
11. ASME. (2009). Dimensioning, & Tolerancing, Y14. 5-2009. NY: The American Society of Mechanical Engineers.
12. Flack, D. R., & Hannaford, J. (2006). Fundamental good practice in dimensional metrology.
13. Wu, D., Wang, H., Peng, J., Zhang, K., Yu, J., Zheng, X., & Chen, Y. (2020). Machining fixture for adaptive CNC machining process of near-net-shaped jet engine blade. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33(4), 1311-1328.
14. Wang, Y., Hodgson, A., Chen, X., & Gindy, N. (2008). A methodology for the development of machining fixtures for components with complicated geometry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(7), 848-856.
15. RadhaMadhavi, C., Ramu, B., & Srinivasulu, K. (2014). Design of machining fixture for turbine rotor blade. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(3), 1-14.
16. Vale, T. D. O., Villar, G. D. C., & Menezes, J. C. (2012). Methodology for structural integrity analysis of gas turbine blades. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 4(1), 51-59.
17. Huang, Q., Yadav, S., Gao, S., Xu, Z., & Wang, X. (2018, October). Analysis of Adaptive Clamping Force of Fixture Based on Finite Element Method. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 423, No. 1, p. 012116). IOP Publishing.
18. Wang, H., Zhang, K., Wu, D., Yu, T., Yu, J., & Liao, Y. (2021). Analysis and optimization of the machining fixture system stiffness for near-net-shaped aero-engine blade. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(11), 3509-3523.
19. Maloney, P., Moroz, N., Stanfill, C., & Zalenski, N. (2008). Turbine Blade Fixture for Inspection and Grinding. no. April.
20. Chavan, S.G., & Karidkar, S.S. (2012). Experimental Stress Analysis In A Fixture System Using, FEA. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 1 Issue 10.
21. Chen, W., Ni, L., & Xue, J. (2008). Deformation control through fixture layout design and clamping force optimization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38(9-10), 860.
22. Qing, M. I. A. O., Wenfeng, D. I. N. G., KUANG, W., & Changyong, Y. A. N. G. (2019). Grinding force and surface quality in creep feed profile grinding of turbine blade root of nickel-based superalloy with microcrystalline alumina abrasive wheels. *Chinese Journal of Aeronautics*.
23. Raffles, M. H., Kolluru, K., Axinte, D., & Llewellyn-Powell, H. (2013). Assessment of adhesive fixture system under static and dynamic loading conditions. *Proceedings of the*

- Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 227(2), 267-280.
24. Bhaduri, D., Soo, S. L., Aspinwall, D. K., Novovic, D., Harden, P., Bohr, S., & Martin, D. (2012). A study on ultrasonic assisted creep feed grinding of nickel based superalloys. *Procedia CIRP*, 1, 359-364.
 25. Kumar., D. (2020). Turbofan Engine for Medium-Range Aircraft with take-off thrust 101.46kN. Thesis, 10.13140/RG.2.2.35715.3280.



The Effect of Technology and Service on Learning Systems During the COVID-19 Pandemic

Arif Ullah^{1*}, Özlem Batur Dinler², Canan Batur Şahin³

^{1*} Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Faculty of Computer Science and Information Technology, Johor, Malaysia, (ORCID: 0000-0002-7740-2206), arifullahms88@gmail.com

² Siirt University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Siirt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2955-6761), o.b.dinler@siirt.edu.tr

³ Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2131-6368), canan.batur@ozal.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS)- 1-3 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.990073)

ATIF/REFERENCE: Ullah, A., Batur Dinler, Ö. & Batur Şahin, C. (2021). The Effect of Technology and Service on Learning Systems During the COVID-19 Pandemic. *European Journal of Science and Technology*, (28), 106-114.

Abstract

Background/Objectives: The new type of coronavirus disease first appeared in the Wuhan province of China in December 2019. The World Health Organization (WHO) declared this disease a pandemic in February 2020. This pandemic has significantly affected many areas such as education, economy, trade, business life, social life, and primarily health all over the world. In this context, the present study investigates the effect of COVID-19 on the education system. The effect of the COVID-19 pandemic on education systems across the world has caused major changes and shifted the entire curriculum to e-learning systems through online approaches. The study aimed to help universities develop an e-learning platform to facilitate the education of their students under COVID-19 conditions and assess what the role of technology and services would be in learning systems after the COVID-19 pandemic. **Approaches:** To this end, a review was conducted based on questionnaires from different universities in Morocco. The number of universities consulted, samples, inclusion and exclusion criteria, demographic characteristics of the studied samples, statistical analysis of the obtained results, different suggestions and implementations of learning systems were discussed. **Conclusion and future research:** This paper shed some light on the growth of e-learning systems during the pandemic and any disasters and provided suggestions for different academic institutions on how to deal with these challenges associated with e-learning.

Keywords: COVID-19, Technology, Learning System, Effect of COVID-19, Internet.

COVID-19 Pandemisi Sırasında Teknoloji ve Hizmetlerin Öğrenme Sistemlerine Etkisi

Öz

Arka Plan/Amaç: Yeni tip koronavirüs hastalığı ilk olarak Çin'in Wuhan eyaletinde Aralık 2019'da ortaya çıktı. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), bu hastalığı Şubat 2020'de bir pandemi ilan etti. Bu pandemi tüm dünyada başta sağlık olmak üzere eğitim, ekonomi, ticaret, iş hayatı, sosyal hayat gibi birçok alanı önemli ölçüde etkilemiştir. Bu bağlamda, bu çalışma COVID-19'un eğitim sistemi üzerine etkisini araştırmaktadır. COVID-19 pandemisinin dünyadaki eğitim sistemleri üzerine etkisi büyük değişikliklere yol açmış, tüm müfredatı çevrimiçi yaklaşımlarla e-öğrenme sistemlerine kaydırmıştır. Çalışma, üniversitelerin öğrencilerinin COVID-19 koşullarında eğitimlerini kolaylaştırmak için bir e-öğrenme platformu geliştirmelerine yardımcı olmayı ve COVID-19 pandemisi sonrasında teknoloji ve hizmetlerin öğrenme sistemlerindeki rolünün ne olacağını değerlendirmeyi amaçlamıştır. **Yaklaşımlar:** Bu anlamda Fas'taki farklı üniversitelerden gelen anketlere dayalı olarak bir inceleme yapılmıştır. Danışılan üniversite sayısı, örneklem, dahil etme ve hariç tutma kriterleri, çalışılan örneklemin demografik özellikleri, elde edilen sonuçların istatistiksel analizi, farklı öneriler ve öğrenme sistemleri uygulamaları tartışılmıştır. **Sonuç ve gelecekteki araştırmalar:** Bu makale, pandemi ve herhangi bir afet sırasında e-öğrenme sistemlerinin gelişimine ışık tutmuş, farklı akademik kurumlara e-öğrenme ile ilgili bu zorluklarla nasıl başa çıkılacağı konusunda önerilerde bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Teknoloji, Öğrenme Sistemi, COVID-19'un etkisi, İnternet.

* Corresponding Author: arifullahms88@gmail.com

1. Introduction

The COVID-19 pandemic has challenged education systems and changed the entire world from different aspects. During the COVID-19 pandemic, different countries have addressed the crisis according to their levels. However, education systems in the entire world have shifted to the e-learning mechanism after COVID-19. It was difficult to prepare these learning systems in a short time, especially for countries of the Third World due to the lack of different technologies. In the last five decades, significant growth has been observed in the field of education systems worldwide. However, the COVID-19 pandemic has tested these developments, following which all physical activities have been transformed into virtual systems. For virtualization, different technologies are needed [1]-[2]. It is possible to increase educational productivity with online learning opportunities and the usage of open educational resources and other technologies due to the acceleration of the learning rate [3]. After the emergence of COVID-19, almost 120 countries have closed schools and universities, which affected almost a billion students across the world. Afterward, universities and schools have introduced courses through online portals by adopting different technologies. One of the main advantages of e-learning systems is that postgraduate students are registered as part-time students because they also work in different fields [4]-[5].

1.1. Effect of COVID-19

The coronavirus disease 2019 (COVID-19) emerged in December 2019, causing many changes in life and society worldwide. COVID-19 was declared a global public health emergency by the World Health Organization (WHO) on January 30th, 2020, and it became a pandemic. After most of the countries were affected and the number of cases and death ratio increased, the entire world started implementing lockdowns. All activities were closed due to social distancing, and education systems were also affected, causing all universities and schools to be closed. Few months after lockdown, people became familiar with handling COVID-19 and started working from different angles and in different styles by considering different parameters. Each country started working in a different field by following the standard operating procedure (SOP), which they introduced for their people's protection due to the COVID-19 pandemic [6]-[7]. Figure 1 presents the effect of COVID-19 worldwide.

Figure 1: Effect of Covid-19 world-wide (unicef.org)

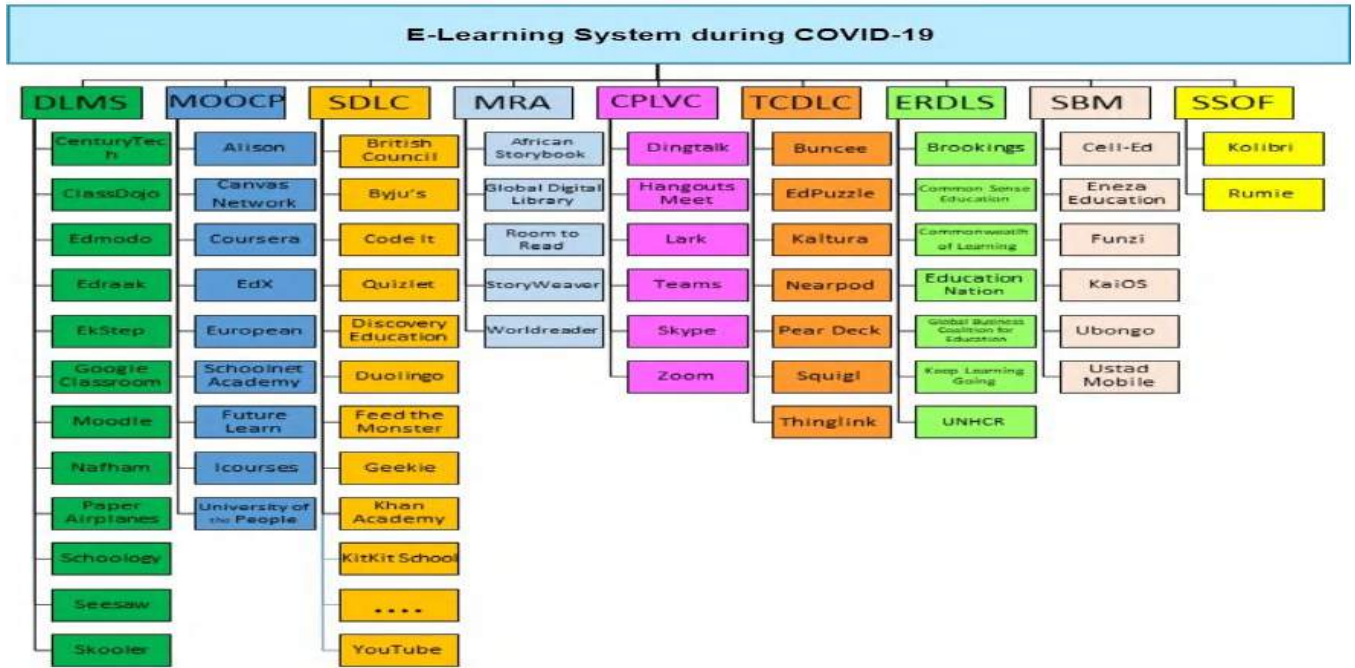


1.2. Learning Systems After COVID-19

The domain of education is one of the best examples of changes in the world due to the COVID-19 pandemic. All activities of education systems have been transformed into e-learning systems, where all teaching activities have been transferred to online communication and learning platforms. On these platforms, both the teacher and student interact while using different applications for teaching. This is not the first example. In 2009, the traditional education system was stopped due to the H1N1 flu outbreak, which affected the education system. After the COVID-19 pandemic, the face-to-face learning system was changed to distance learning, or simply, to e-learning systems. Many governments tried to keep up with the exponential spread of COVID-19. Thus, there was very limited time for organizations to prepare for a remote teaching regime. If possible, preparations could have been completed, and Figure 2 demonstrates the applications and software used during the COVID-19 pandemic [8]-[10].

Figure 2 shows the different applications and software used by various countries for educational purposes according to their requirements during the COVID-19 pandemic. Due to COVID-19, e-learning is becoming very popular worldwide because almost all activities are performed based on technology via the internet. Online learning or e-learning is effective in developed countries, but it is not effective in most of the underdeveloping countries due to different reasons. One of the main elements of learning systems is smartphones. However, they are not effective in learning due to a significant amount of content that can be accessed using smartphones [12]-[13]. After the survey of organizational agility (Wu, 2020), it was observed that online learning systems had several issues, including content change into digital, online teaching methods and different resources used for education systems. Furthermore, the main issues of online systems are the effects and efficacy of online education and the range of learning goals guiding our educational and instructional priorities. The absence of access to quick, cheap and reliable internet connections prevents online learning, particularly for individuals living in rural areas and marginalized communities in different countries [14]. After the COVID-19 pandemic, the student's entire education progress has changed in a different way. For example, different students need to change from schools to universities or colleges to training sections, according to their education level. This changes student's life or encourages different roles in students. However, due to COVID-19, all these activities have been stopped, and only the online system has remained without any social progress[15]-[16].

Figure 2: Different Parameters During COVID-19[12].



2. Material and Method

2.1. Current Technologies And Services Used in Learning Systems

Information and communication technologies (ICTs) have quickly become one of the main supports of today's society. Nowadays, a lot of countries regard understanding the said technologies and becoming proficient in their major concepts and skills as an indispensable part of basic education, along with writing, reading, and arithmetic. Thus, education informatization has become a new paradigm of online education, called smart e-learning, that allows for inserting the theory of modern education based on educational data and uses supporting technologies to make better use of intelligent e-learning services [17]-[18]. In this sense, we can speak of two different axes of data-based services, among which online learning is a three-level architecture: the first level is data, the second is supporting technology, and the third level is service. Under the traditional category of data, it is possible to divide educational data into three groups: unstructured data, semi-structured educational data, and structured educational data. The main supporting technologies cover digital tools and products that can be used in education and online teaching. They include typical services, e-learner profiles, generation and navigation of learning paths, and a knowledge graph construction process. In intelligent e-learning, the descriptive analysis makes it possible to target, describe, summarize, and analyze the data historically and educationally and perform typical tasks allowing including the profile of the e-learner and the KG construction. The diagnostic analysis consists of identifying the trends' causes and the learning results of e-learners. As long as the analysis continues, it allows monitoring the e-learner status, resource usage, action, and decision autonomously or semi-autonomously [19]-[20]. The COVID-19 pandemic has affected countless areas of human activity, including education systems, on a large scale worldwide. According to the data of (UNESCO 2020), more than 1500,000,000 university students, who cannot attend their universities, have been affected. Due to the effect of COVID-19, the education system was shut down. However, after becoming

familiar with this problem, UNESCO has recommended equipping educational institutions with online learning tools [21]-[22]. We live in the age of information technologies, which play a vital role in different fields, and education is one of them. The shift from the classical design of teaching and training, which is approaching in a hidden way, represents a source of both difficulties and opportunities for higher education institutions. Thus, some of the issues in the future education system after the COVID-19 pandemic are discussed in this paper, and results are collected from a questionnaire-based study.

2.1.1. Problem Statement

This study was designed to critically examine the effect of technology and service on learning systems during the COVID-19 pandemic. The present research investigated its positive and negative impacts on the education system and checked different issues. After COVID-19, technology was included in the education system, and it is required to investigate which section needs improvement and more specific modification with regard to technology and services.

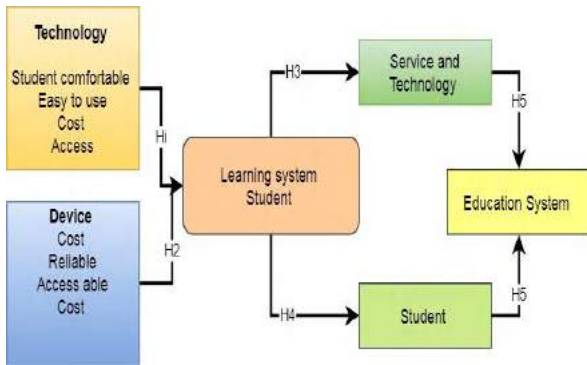
2.1.2. Objectives of the Study

- To find positive impacts of technology on the education system during the COVID-19 pandemic.
- To find negative impacts of technology and service on the education system during the COVID-19 pandemic.
- To provide recommendations for improvement of technology and service after the COVID-19 pandemic.

2.1.3. Hypothesis

The study is based on the following hypothesis, and Figure 3 presents the theoretical framework of the paper.

Figure 3: Theoretical Framework.



- **H1.** E-information quality has a caring connotation with students' e-learning.
- **H2.** Students' e-learning arbitrates the relationship between e-service qualities.
- **H3.** Students' satisfaction arbitrates the relationship between students' e-learning and university image.
- **H4.** The relationship between e-learning and the cost of different devices is mediated by students' satisfaction.
- **H5.** Students' satisfaction with the cost of technology and its future implications.

2.1.4. Data Collection

The target population of the current paper consisted of students selected from different public and private universities in Morocco according to their ranking in QS World Ranking 2020. Online questionnaires were employed for data collection from the universities using online education systems continuously under the current COVID-19 conditions. Data collection was performed using an online questionnaire with the help of the Google platform. Three hundred questionnaire responses in total were obtained, and the number of responses that could be used for data analysis was 300.

2.1.5. Questionnaire and Methods

The questionnaire consists of 30 items on the basis of the research of [23]-[24]. The main categories used are technology and communication, consisting of 10 items. The quality of e-learning service consists of four dimensions, which were adopted by [25], and the effect of device and connection consists of 3 dimensions adopted by [26].

2.2. Simulation Environmet

Structural equation modeling (SEM) is used to conduct multivariate analysis. SEM is a statistical modeling instrument which can solve casual and complex covariance relationships among different variables. It basically represents a set of multivariate techniques, including measurement and structural equation simultaneously [27]-[28]. PLS, LISREL, EQS, and AMOS represent the most common SEM techniques. EQS, LISREL, and AMOS are covariance-based methods, whereas PLS is a component-based technique [29]. SEM is used for covariance in the analysis techniques rather than correlation in other tools such as regression analysis in SPSS, yielding better results compared to correlation [30]-[31]. SEM was used in this study because it evaluates the theoretical proposition, showing the correlation between constructs and the credibility of the theoretical model [32]-[33]. Furthermore, the main advantage of using SEM is the increased application of SEM in performance-related studies [34]-[35]. The mentioned advantages include its ability to conduct multifaceted and multiple regression analysis as a whole simultaneously, its use for the *generation* of results. Moreover, the PLS algorithm and bootstrapping technique are used for the measurement of data as well as the structure of the model [36]-[37].

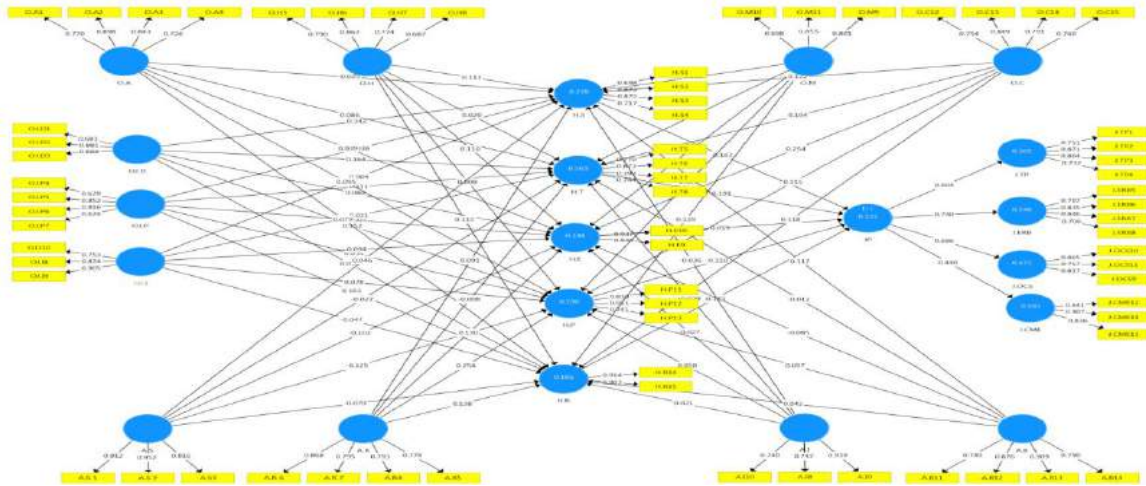
3. Results and Discussion

Finally, the results of the paper demonstrate that students are satisfied with the learning system during the COVID-19 pandemic in different universities in Morocco with positive images and few negative images. The above-mentioned findings are important for universities when they start the e-learning of students due to the impact of COVID-19, which causes a paradigm shift in the education sector, especially in universities. In the course of the paradigm shift and the adoption of online learning, universities should concentrate on ICT together with reliability, tangibility, assurance, and responsiveness. Furthermore, when universities start the e-learning of students, they will make use of different services in positive and negative aspects. Thus, through a paradigm shift, universities are able to maintain their operations via online learning as a result of applying the elements mentioned above under the COVID-19 conditions. Table 1 shows the results of the collection after simulation, while Figure 4 demonstrates the simulation process.

Table 1. Data Process.

	HH1	HH2	HH3	HH1	HH4	HH5	HH2	HH1	HH3	HH4
	0.533									
SS	0.614	0.432								
MM	0.899	0.56	0.584							
EO	0.571	0.511	0.545	0.561						
SS	0.595	0.433	0.618	0.525	0.592					
AA	0.552	0.471	0.38	0.854	0.462	0.262				
EO	0.589	0.415	0.654	0.543	0.497	0.626	0.335			
MM	0.553	0.235	0.659	0.578	0.298	0.355	0.308	0.409		
Privacy	0.258	0.163	0.296	0.237	0.389	0.397	0.101	0.438	0.191	
SS	0.799	0.687	0.644	0.823	0.678	0.775	0.473	0.681	0.428	0.411
EO	0.617	0.42	0.866	0.644	0.47	0.489	0.426	0.615	0.723	0.152
AVA	0.757	0.539	0.756	0.641	0.878	0.68	0.34	0.884	0.511	0.327

Figure 4: Measurement Tool.



The construct validity is checked by conducting a parallel analysis and is a powerful technique; it measures the components of the factor to be retained after performing the factor analysis. The current study confirmed that students were satisfied with the vital components of online education in an emergency, such as the COVID-19 pandemic. The three main elements of the system are technology, services and devices, and their quality. These studies have a positive aspect in improving education systems during this pandemic and some negative aspects about the service quality and cost.

The present research suggested that the e-learning of students was one of the essential components of providing online education in an alternative condition, such as the COVID-19 pandemic. Nevertheless, the e-learning of students includes three main elements: e-service, quality, and e-information quality. The findings of the research emphasized that technology and service played an affirmative role in improving the e-learning of students. The development of students' e-learning is possible with better technology and service. Previous research also supports the mentioned findings. In accordance with [38], technology and service play a primary role in promoting students' e-learning. Moreover, further research confirms a significant positive impact of technology and service on the e-learning of students [39]-[40]. Additionally, the study findings also confirmed that the quality of e-service contributed positively to promoting the e-learning of students. Thus, the quality of e-service quality represents the central component of the paradigm shift. Higher e-service and resource quality can assist with the paradigm shift in universities. A higher quality of e-service may encourage students to learn using an online system. In line with the present research, [41] argued that the quality of e-service had a direct effect on the faithfulness of e-learning students. In consistency with this research, different previous studies also emphasized that the quality of e-service and resources positively affected the e-

learning of students [42]. Moreover, the current research demonstrated that the quality of e-service should have perceptibility, dependability, receptiveness, and declaration for the purpose of encouraging the e-learning of students. Furthermore, it is necessary to ensure a higher quality of e-information with the aim of providing a better student e-learning system. E-learning quality is dynamic for the purpose of developing a students' e-learning system and motivating students to benefit from the online learning facility. Prior studies in the literature are also parallel with the present research and provide pieces of evidence indicating that the quality of e-information has a positive effect on improving students' e-learning. Previous research has examined a significant positive impact of e-information on the learning of students [43]. In parallel with this research, different previous studies also emphasized that the quality of e-service positively affected a students' e-learning system. Moreover, the present research confirmed that e-service quality should possess reliability, tangibility, assurance, and responsiveness for the purpose of promoting the e-learning of students. In addition, it is necessary to ensure a higher quality of e-information with the aim of providing a better student e-learning system. The third section discusses the cost and connection procedures students are uncomfortable with. The fifth section discusses the real time section and privacy and service section (SS), which are the main issues that need to be solved in the future. The last section states that more studies are needed on the same platform (AVA) for sharing different contents with different students. The survey indicated positive results or images during the COVID-19 pandemic. However, few main suggestions were made. For example, an improvement is needed after the COVID-19 pandemic, when different organizations design different platforms for learning systems. Figures 5 and 6 show the impact of COVID-19 on the education system.

Figure 5: Positive impact of COVID-19 on the learning system.

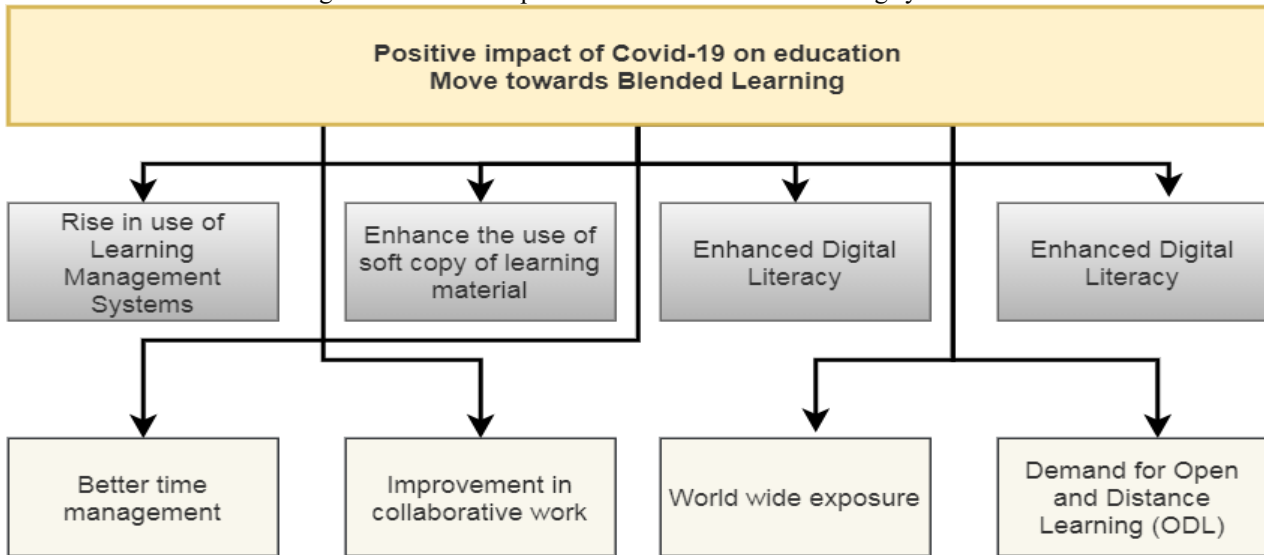
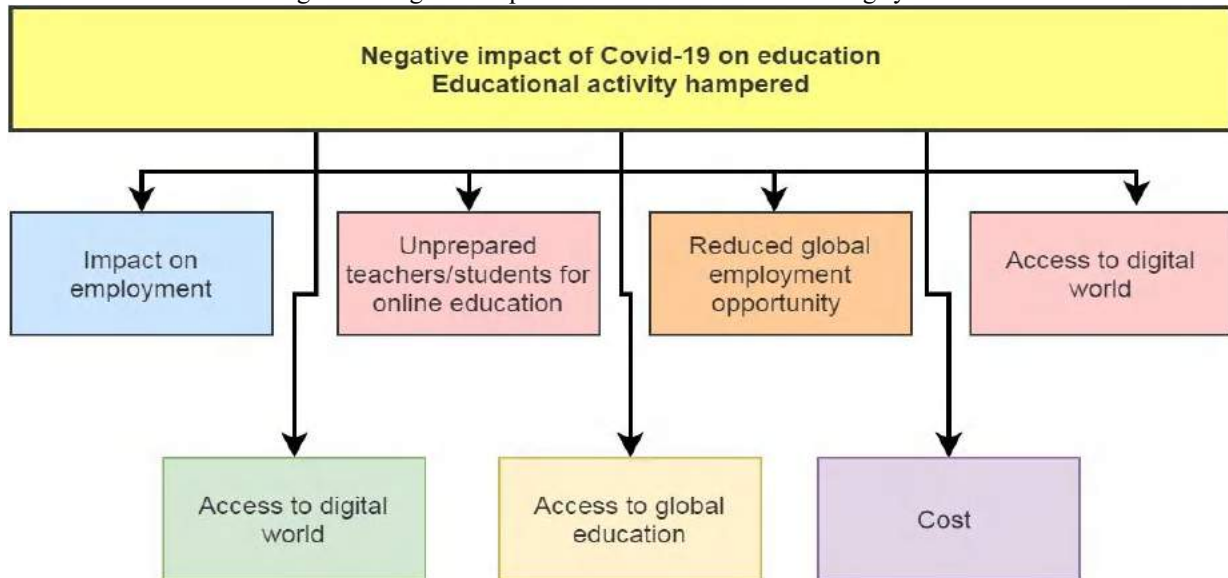


Figure 6: Negative impact of COVID-19 on the learning system.



3.1. Future Trends in Learning Systems

There is an urgent need to create a ubiquitous learning environment by incorporating hybrid human intelligence into the loop to create safe, intelligent, and engaging online learning environments to promote performance and experience with learning services personalized as well as a huge online learning service, especially when they first appeared in the world. Some infectious diseases like COVID-19 emerge. Therefore, future work will be as follows. The intelligent knowledge service and online learning, undoubtedly, enable e-learners to learn and acquire knowledge [44]-[45]. At the same time, there are numerous scattered and chaotic online educational resources, causing low resource usage and learning efficiency. Hence, there is an urgent need to transfer numbers of educational resources into a cohesive knowledge system and service. Finally, the systematization of knowledge on the basis of the KG service leads to an orderly, thematic, and visual organization, management, and service of knowledge teaching. AR/VR services improve with the

developing VR/AR technology, services with enhanced VR/AR online educational resources, including virtual physical resources and chemical experiments, and virtual design/green combustion engineering training will become popular, in particular with human-type personalized teaching assistants or intelligent agents with the integration of services such as Q/A and effective interaction. Intelligent EQA systems, methods, and services still do not have scientific EQA since they have become a limitation to improving the e-learning quality [46]-[47]. Developing technology will be essential for the evaluation of production. Various types of assessment work together for the purpose of capturing and analyzing the abilities of online learners and online learning environments, taking into account full reliability, validity, fairness, and confidentiality, in establishing a mechanism for feedback and communication between learners and teachers, and then performing a thorough and scientific evaluation. Digital property protection or privacy services remain an important issue in online services. There is no exception for e-learning and its services. Certain tasks need to be performed for the prevention of

confidentiality disclosure, including recommendations for sharing educational resources or facial identification. Some privacy-related tasks are to ensure that there is no illegal leakage and to provide the modification of students' personal files on the Internet in digital repositories and educational resources [48].

3.2. Limitations and Future Directions

Although the present research has contributed to the literature significantly, there are several limitations in the current study, which can represent directions for future research. Firstly, the findings of the current research are primarily valid for developing countries where the development of e-learning systems is in the early phase. Nevertheless, e-learning systems have a good organization in the majority of the developed countries. It is necessary to conduct future studies in developed countries as a result of extending the framework of current studies. Secondly, the present research just provided the framework for e-learning systems. Nevertheless, universities are experiencing various difficulties in implementing e-learning systems. Thus, future research must address the challenges experienced by universities concerning the e-learning system and provide a potential solution. Thirdly, a questionnaire survey constitutes the basis of the current paper. However, future research should also involve interviews with higher authorities in universities to acquire precise information about online learning.

4. Conclusions and Recommendations

This paper presents the impact of the COVID-19 pandemic on the education system and mentions the affected geographical region and the faculty studied (age group/university and stream, duration of study). The COVID-19 pandemic has changed the entire world structure due to social distancing and also the education system. Therefore, it is necessary to apply digitalization to the education system critically. Furthermore, there is a need for a broader societal dialogue about the goals of education and about the society kind we want to develop in under the CCOVID-19 conditions. Despite the fact that the current study has made a considerable contribution to the literature and practice, it also has some limitations, which can be directions for future research. Firstly, the findings of this paper can primarily be applied to developing countries where the development of the online education system is in the beginning phase. Nevertheless, the majority of the developed countries have well-established online learning systems. It is necessary to conduct future studies in developed countries on the main issues of the cost of devices and network availability. Thirdly, a questionnaire survey constitutes the basis of the current paper. However, future research should also involve interviews with higher authorities in universities to acquire precise information about online learning.

References

[1] Markauskaite, L. (2006), Towards an integrated analytical framework of information and communications technology literacy: from intended to implemented and achieved

dimensions, *Information Research: an International electronic journal*, 11(3):1-25.

[2] Huang, W., & Mille, A. (2006), ConKMeL: a contextual knowledge management framework to support multimedia e-Learning, *Multimedia Tools and Applications*, 30(2):205-219. <https://doi.org/10.1007/s11042-006-0024-4>.

[3] Caldwell, J. E. (2007), Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips, *CBE—Life Sciences Education*, 6(1): 9-20. <https://doi.org/10.1187/cbe.06-12-0205>

[4] Martin, A. (2008), Digital literacy and the “digital society”, *Digital literacies: Concepts, policies and practices*, 30, 151-176.

[5] Riddell, S., & Weedon, E. (2014), Disabled students in higher education: Discourses of disability and the negotiation of identity, *International Journal of Educational Research*, 63, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2013.02.008>

[6] Logica, B., & Magdalena, R. (2015), Using big data in the academic environment, *Procedia Economics and Finance*, 33, 277-286. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01712-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01712-8)

[7] Nordin, N. B., Mir, R. N., & Noor, Z. (2017), Adoption of cloud computing in higher learning institutions: a systematic review, *Indian Journal of Science and Technology*, 10(36), 1-19, DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i36/117641.

[8] Wang, Y., Kung, L., & Byrd, T. A. (2018), Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.12.019>

[9] Ullah, A. (2019), Artificial bee colony algorithm used for load balancing in cloud computing. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 8(2), 156. DOI: 10.11591/ijai.v8.i2.pp156-167.

[10] Vu, T. N. (2020), Examining Teacher Agency Among Teacher Educators: An Action Research In Vietnam, *Australian Journal of Teacher Education*, 45(7), 6, DOI: 10.14221/ajte.2020v45n7.6.

[11] Lasuen, U. O., Iragorri, M. A. O., & Diez, J. R. (2020), Towards energy transition at the Faculty of Education of Bilbao (UPV/EHU): diagnosing community and building, *International Journal of Sustainability in Higher Education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-12-2019-0363>.

[12] Udok, M. B., Eton, C. U., & Akpanika, E. N. (2020), Coronavirus Pandemic and its Effect on African Religiosity, *International Journal of Humanities and Innovation (IJHI)*, 3(3), 109-114. <https://doi.org/10.33750/ijhi.v3i3.86>.

[13] Ullah, A., & Nawari, N. M. (2020), Enhancing the dynamic load balancing technique for cloud computing using HBATAABC algorithm. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, 2050041. <https://doi.org/10.1142/S1793962320500415>.

[14] Maphalala, M. C., & Adigun, O. T. (2020), Academics' Experience of Implementing E-Learning in a South African Higher Education Institution, *International Journal of Higher Education*, 10(1), 2021. doi:10.5430/ijhe.v10n1p1.

[15] Sangster, A., Stoner, G., & Flood, B. (2020), Insights into accounting education in a COVID-19 world, *Accounting Education*, 29(5), 431-562. <https://doi.org/10.1080/09639284.2020.1808487>.

[16] Batur Dinler, Ö., Batur Şahin, C. (2021), Prediction of phishing web sites with deep learning using WEKA environment. *European Journal of Science and Technology*, (2021), 24, 35-41. <https://doi.org/10.31590/ejosat.901465>.

- [17] Hofmeister, C., & Pilz, M Using E-Learning to Deliver In-Service Teacher Training in the Vocational Education Sector: Perception and Acceptance in Poland, Italy and Germany. *Education Sciences*, . (2020). 10(7), 182. <https://doi.org/10.3390/educsci10070182>.
- [18] Rapanta, C., Botturi, L., Goodyear, P., Guàrdia, L., & Kooles, M. Online university teaching during and after the Covid-19 crisis: Refocusing teacher presence and learning activity. *Postdigital Science and Education*, (2020). 2(3), 923-945. <https://doi.org/10.1007/s42438-020-00155-y>.
- [19] Shahzad, A., Hassan, R., Aremu, A. Y., Hussain, A., & Lodhi, R. N. Effects of COVID-19 in E-learning on higher education institution students: the group comparison between male and female. *Quality & Quantity*, (2020). 1-22. <https://doi.org/10.1007/s11135-020-01028-z>.
- [20] Ullah, A., Nawi, N. M., Shahzad, A., Khan, S. N., & Aamir, M. (2017), An e-learning system in Malaysia based on green computing and energy level, *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 1(4-2), 184-187. <http://dx.doi.org/10.30630/joiv.1.4-2.63>
- [21] De Amicis, R., Riggio, M., Badr, A. S., Fick, J., Sanchez, C. A., & Prather, E. A. (2019), Cross-reality environments in smart buildings to advance STEM cyberlearning, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13(1), 331-348.
- [22] Crawford, J., Butler-Henderson, K., Rudolph, J., Malkawi, B., Glowatz, M., Burton, R., & Lam, S. (2020), COVID-19: 20 countries' higher education intra-period digital pedagogy responses. *Journal of Applied Learning & Teaching*, 3(1), 1-20. <http://dx.doi.org/10.37074/jalt.2020.3.1.7>
- [23] Azevedo, J. P., Hasan, A., Goldemberg, D., Iqbal, S. A., & Geven, K. (2020), Simulating the potential impacts of COVID-19 school closures on schooling and learning outcomes: A set of global estimates. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-9284>.
- [24] Harris, B. N., McCarthy, P. C., Wright, A. M., Schutz, H., Boersma, K. S., Shepherd, S. L., & Ellington, R. M. (2020), From panic to pedagogy: Using online active learning to promote inclusive instruction in ecology and evolutionary biology courses and beyond. *Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1002/ece3.6915>.
- [25] Shehzadi, S., Nisar, Q. A., Hussain, M. S., Basheer, M. F., Hameed, W. U., & Chaudhry, N. I. (2020), The role of digital learning toward students' satisfaction and university brand image at educational institutes of Pakistan: a post-effect of COVID-19. *Asian Education and Development Studies*. <https://doi.org/10.1108/AEDS-04-2020-0063>.
- [26] Ali, F., Zhou, Y., Hussain, K., Nair, P. K., & Ragavan, N. A. (2016), Does higher education service quality effect student satisfaction, image and loyalty?. *Quality assurance in education*. <https://doi.org/10.1108/QAE-02-2014-0008>
- [27] Orel, F. D., & Kara, A. (2014), Supermarket self-checkout service quality, customer satisfaction, and loyalty: Empirical evidence from an emerging market. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 21(2), 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2013.07.002>.
- [28] Lowry, P. B., & Gaskin, J. (2014), Partial least squares (PLS) structural equation modeling (SEM) for building and testing behavioral causal theory: When to choose it and how to use it. *IEEE transactions on professional communication*, 57(2), 123-146. <https://doi.org/10.1109/TPC.2014.2312452>.
- [29] Cole, D. A., Maxwell, S. E., Arvey, R., & Salas, E. (1993), Multivariate group comparisons of variable systems: MANOVA and structural equation modeling. *Psychological Bulletin*, 114 (1), 174. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-2909.114.1.174>.
- [30] Musil, C. M., Jones, S. L., & Warner, C. D. Structural equation modeling and its relationship to multiple regression and factor analysis. *Research in Nursing & Health*, (1998). 21(3), 271-281. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-240X\(199806\)21:3%3C271::AID-NUR10%3E3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-240X(199806)21:3%3C271::AID-NUR10%3E3.0.CO;2-G)
- [31] Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C., & Sarstedt, M. (2016), *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. Sage publications.
- [32] Ulaganathan, M., Nithya, R., & Rajendran, S. (2012), Surface analysis studies on polymer electrolyte membranes using scanning electron microscope and atomic force microscope. In *Scanning Electron Microscopy*. Intechopen. (2012). DOI: 10.5772/34948.
- [33] Yang, R., Zhang, S., Zhang, L., & Liu, W. (2013), Electrical properties of composite polymer electrolytes based on PEO-SN-LiCF3SO3. *Int. J. Electrochem. Sci*, 8, 10163-10169.
- [34] Gajendran, N. (2020), Blockchain-Based secure framework for elearning during COVID-19. *Indian journal of science and technology*, 13(12), 1328-1341. <https://doi.org/10.17485/IJST/v13i12.152>.
- [35] Sathishkumar, V. & Radha, R. & Saravanakumar, Ar & Mahalakshmi, K.. (2020), E-Learning during Lockdown of Covid-19 Pandemic: A Global Perspective. *International Journal of Control and Automation*. 13. 1088-1099.
- [36] Mpungose, C.B.(2020), Emergent transition from face-to-face to online learning in a South African University in the context of the Coronavirus pandemic. *Humanit Soc Sci Commun* 7, 113. <https://doi.org/10.1057/s41599-020-00603-x>;
- [37] Al-Balas, M., Al-Balas, H.I., Jaber, H.M. et al. (2020), Distance learning in clinical medical education amid COVID-19 pandemic in Jordan: current situation, challenges, and perspectives. *BMC Med Educ* 20, 341. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02257-4>.
- [38] Armstrong-Mensah, Elizabeth; Ramsey-White, Kim; Yankey, Barbara; Self-Brown, Shannon (2020), COVID-19 and Distance Learning: Effects on Georgia State University School of Public Health Students. *Frontiers in Public Health*, 8(), 576227-. doi:10.3389/fpubh.2020.576227.
- [39] Mulla, Z. D., Osland-Paton, V., Rodriguez, M. A., Vazquez, E., & Kupesic Plavsic, S. (2020), Novel coronavirus, novel faculty development programs: rapid transition to eLearning during the pandemic, *Journal of Perinatal Medicine*, 48(5), 446-449. doi: <https://doi.org/10.1515/jpm-2020-0197>.
- [40] Nugroho, R. A., Basari, A., Suryaningtyas V.W., & Cahyono, S.P. (2020), University Students' Perception of Online Learning in Covid-19 Pandemic: A Case Study in a Translation Course, 2020 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic), Semarang, Indonesia, pp. 225-231, doi: 10.1109/iSemantic50169.2020.9234251.
- [41] Murphy, M. P. A. (2020), COVID-19 and emergency eLearning: Consequences of the securitization of higher education for post-pandemic pedagogy, *Contemporary Security Policy*, 41:3, 492-505, DOI: [10.1080/13523260.2020.1761749](https://doi.org/10.1080/13523260.2020.1761749).
- [42] Oztemel, E., & Gursev, S. (2020), Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182.

- [43] Bao, W. (2020), COVID-19 and online teaching in higher education: A case study of Peking University. *Hum Behav & Emerg Tech.* 2: 113– 115. <https://doi.org/10.1002/hbe2.191>.
- [44] Yanti, B., Wahyudi, E., Wahiduddin, W., Novika, R. G. H., Arina, Y. M. D. A., Martani, N. S., & Nawan, N. (2020), Community knowledge, attitudes, and behavior towards social distancing policy as prevention transmission of COVID-19 in indonesia. *Jurnal Administrasi Kesehatan Indonesia*, 8(2), 4-14.
- [45] Sugarman, J. R., Warren, C. W., Oge, L., & Helgerson, S. D. (1992), Using the Behavioral Risk Factor Surveillance System to monitor year 2000 objectives among American Indians. *Public Health Reports*, 107(4), 449.
- [46] Moore, L. V., Dodd, K. W., Thompson, F. E., Grimm, K. A., Kim, S. A., & Scanlon, K. S. (2015), Using behavioral risk factor surveillance system data to estimate the percentage of the population meeting US Department of Agriculture food patterns fruit and vegetable intake recommendations. *American journal of epidemiology*, 181(12), 979-988.
- [47] Wijaya, I. K. (2012), Environmental Influences Cause Stress on the Use of Computer. *International Journal of Public Health Science*, 1(1), 7253.
- [48] Boadu, R. O., Agyei-Baffour, P., & Edusei, A. K. (2019), Data accuracy and completeness of monthly midwifery returns indicators of Ejisu Juaben Health Directorate of Ghana. *International Journal of Public Health Science*, 8(1), 106-117.



Geçmişten Günümüze Kablosuz Mobil İletişim Teknolojileri

Ramazan Akkurt^{1*}

^{1*} Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2319-9887), rakkurt@mersin.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.991625)

ATIF/REFERENCE: Akkurt, R. (2021). Geçmişten Günümüze Kablosuz Mobil İletişim Teknolojileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 115-119.

Öz

Geçmişten günümüze gelişen ve kullanımı giderek artan mobil cihazlar, bu artışla beraber mobil kablosuz iletişim teknolojilerinin de gelişimine öncülük etmiştir. Bu cihazların en temel özelliği olan taşınabilirlik, her ortamda kesintisiz olarak iletişime devam edebilmeleri için mobil iletişim teknolojilerinin gelişmesinde en büyük etkidir. Yıllar içinde gelişen ve büyük coğrafik alanlarda kablosuz iletişim servisleri sağlayan hücreli ağlar, artan cihaz sayısı ve talep edilen iletişim yükünü karşılayabilmek için süre gelen yıllarda birçok yeni jenerasyon (1G, 2G, 3G, 4G vb.) ağ teknolojisi ile bu alanda iletişim sağlayan en temel ağlardır. Bu çalışmada yeni ve eski model hücreli ağ teknolojilerinin gelişimi irdelenmiş ve yıllara göre büyüyen ağ şartlarındaki iyileşmeler araştırılmıştır. Ve bu bağlamda, gelecek nesil hücreli ağ teknolojilerinin tahmini ağ kapasiteleri hakkında bazı çalışmalar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hücreli ağlar, Kablosuz ağlar, 5G, Radyo erişim ağları (RANs), Taşınabilir cihazlar.

Wireless Mobile Communication Technologies from Past to Present

Abstract

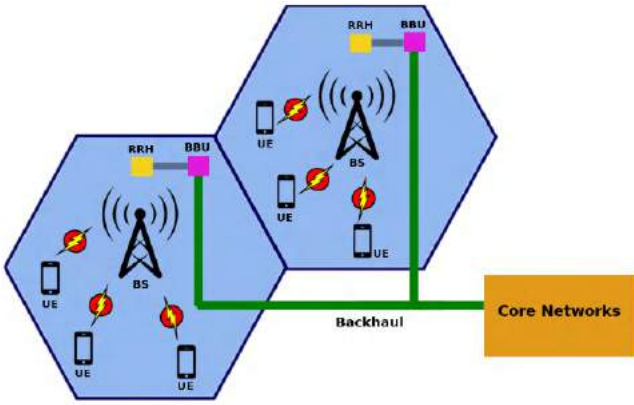
Mobile devices, which have developed from the past to the now and whose use is increasing, have also led the development of wireless communication technologies. Portability, which is the most basic feature of these devices, is the biggest factor in the development of mobile communication technologies so that these devices can maintain communication in any environment without interruption. Cellular networks, which have developed over the years and provide wireless communication services in large geographical areas, are the most basic networks that provide communication in this area with many new generation (1G, 2G, 3G, 4G etc.) network technologies in order to handle the increasing number of devices and the demanded communication load in the coming years. In this paper, the development of new and old model cellular network technologies has been examined and the improvements in network conditions that have grown over the years have been investigated. And in this context, some works on the estimated network capacities of next generation cellular network technologies are examined.

Keywords: Cellular networks, Wireless networks, 5G, Radio access networks (RANs), Portable devices.

* Sorumlu Yazar: rakkurt@mersin.edu.tr

1. Giriş

Günümüz koşullarında en büyük bilgi alışverişi kaynaklarından biri olan mobil iletişim, bu yöndeki eğilimlerin sürekli artması sebebiyle son yıllarda büyük gelişmelerin odağı olmuştur. Cisco Annual Internet Report'a göre 2023 yılı itibari ile 13,1 milyar mobil cihazın kullanılacağı tahmin edilmektedir [1]. Her yıl giderek artan bu sayılar, bu cihazların iletişim yüklerinin de artması ile yeni ağ teknolojilerine ve kaynaklarına olan talebi arttırmaktadır. Hareket sınırlaması olmadan, her yerden iletişime devam etme çabasını taşıyan bu cihazlara, geniş kapsama alanlarında servis sağlayabilmek ve yüksek veri alışverişi oranları sunmak, mobil iletişim teknolojilerindeki temel kaygılardır. Bu çerçevede gelişen ve gelişmeye devam eden mobil kablosuz iletişim teknolojileri, belirli aralıklarla güncellenen ve ortaya çıkan yeni nesil ağ jenerasyonları ile bu isteklere cevap verebilecek teknolojiler oluşturmayı hedeflemişlerdir.



Şekil 1. Hücresel Ağ modeli

Şekil 1'de de gösterilen hücresel ağ modeli, mobil iletişim teknolojilerinde en temel ağlardan biri konumundadır. Bu ağlar, kapasite ve kapsama alanları bakımından çeşitlilik gösteren BS (Base Stations) erişim noktaları sayesinde son kullanıcılarla ilk iletişimi kurarak, herhangi bir konum kısıtlaması olmadan UE'lerin (User equipment) sorunsuz şekilde çekirdek ağlarla (Core networks) iletişim kurmalarını sağlamaktadırlar. Gelişen ağ şartları ve kullanıcı sayısı ile birlikte birçok yeni nesil ağ modellerinin ortaya çıkması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu çalışma, eski ve yeni nesil ağ teknolojileri (1G, 2G, 3G, 4G, 5G vb.) üzerinde genel bir bakış oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu ağlarda kullanılan yeni model yaklaşımlar, genel kavramlar, kullanılan yeni teknolojiler ve birçok benzeri özelliklerin ortaya konulması için, bölüm II de bu yeni nesil ağların genel kapsamı ele alınmıştır. Bölüm III'te bu ağların birbirlerine olan üstünlükleri, avantajları ve dezavantajları tablo halinde verilip, genel değerlendirilmesi yapılmıştır. Bölüm IV 'te ise gelecek yıllarda tanıtılması beklenen yeni nesil (6G, 7G vb.) ağ modellerinin tahmini ağ kapasite ve özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

2. Ağ Jenerasyonlarına Genel Bakış

Bu bölümde kullanıcı taleplerine göre gelişen ve değişen yeni nesil ağların genel yapısı, kullanılan yeni teknolojiler ve ağ kaynaklarının genel özellikleri incelenmiştir.

2.1. 1G (First Generation)

1980'li yıllarda ilk olarak tanıtılan 1G ağ modeli, analog sinyal teknolojisinin kullanıldığı ve yaklaşık 2.4Kbps iletim hızı destekleyen ilk hücresel ağ jenerasyonudur. Ses verisi dışında başka bir veri paylaşımını desteklememektedir. Advanced Mobile Phone System (AMPS) standardının kullanıldığı bu modelde, farklı bölgelerde Nordic Mobile Telephone (NMT) ve Total Access Communications System (TACS) gibi farklı standartlarda kullanılmıştır. Devre anahtarlama (Circuit switching) teknolojisinin kullanıldığı bu model de hareket halindeki bir kullanıcıya servis sağlanması mümkün değildir [2].

2.2. 2G (Second Generation)

1990'lı yıllarda kullanılan 2G ağ modeli, dijital sinyal teknolojisinin kullanıldığı ve yaklaşık 10Kbps iletim hızlarını destekleyen ikinci nesil ağ teknolojisidir. Global Systems for Mobile communications (GSM) standardının kullanıldığı bu nesil ayrıca Short Message Service (SMS) ve e-mail servislerinin kullanılmaya başlandığı ilk nesil ağ modelidir. Code Division Multiple Access (CDMA) ve Time Division Multiple Access (TDMA) çoğullama teknolojilerini kullandığı bu model, ses ve veri iletimini birlikte desteklemektedir [3]. 1G modelinde olduğu gibi bu modelde de bant genişliğinin kullanıcılar arasında paylaşılması için devre anahtarlama (Circuit switching) yöntemi kullanılmaktadır. Bu ağın sonraki yıllarında ara versiyonları (2.5G ve 2.75G) olarak tanıtılan bazı yeni nesil alt ağ modelleri de mevcuttur. 2G ağ jenerasyonunun temel teknolojilerini taşıyan 2.5G ara model ağ, General Packet Radio Services (GPRS) erişim teknolojisinin kullanımı ile 50Kbps iletim hızlarını desteklemektedir. Multimedia Messaging Service (MMS) mesajlaşma servisinin ilk kez kullanımı 2.5G ağlarında ortaya çıkmıştır. Diğer bir alt ağ modeli olan 2.75G, Enhanced Data Rate for GSM Evolution (EDGE) teknolojisi ile iletim hızları 144Kbps'lara kadar ulaşmaktadır. 1G ve 2G den farklı olarak 2G'nin bu alt versiyon iki ağ modelinde paket anahtarlama (Packet switching) kullanılmıştır.

2.3. 3G (Third Generation)

2000 yılının sonlarında geliştirilen 3. Nesil ağ modeli, yaklaşık 384Kbps iletim hızlarını desteklemektedir. Bir önceki modellere göre ses ve veri iletiminin yanı sıra görüntülü arama özelliğinin ilk kez desteklendiği ağ modeli 3G ağlarıdır. CDMA-2000 gibi yeni model erişim teknolojilerinin yanı sıra, Wideband CDMA (WCDMA) ve Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS) erişim teknolojilerinin de kullanımı 3G ağlarla mümkün olmuştur. 3G ağları, sonraki yıllarda yeni teknolojilerle donatılmış yeni versiyon (3.5G ve 3.75G) ağ modelleri ile gelişmiş ağ kaynakları sunmaktadır. HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) erişim teknolojisi ile 2Mbps iletim hızlarına ulaşabilen bu yeni versiyon ağ modeli 3.5G olarak isimlendirilmektedir. HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) erişim teknolojisi ile 30Mbps gibi iletim hızlarına ulaşmayı başaran bu yeni versiyon 3G ağı, 3.75G olarak adlandırılmaktadır [4]. Bazı kaynaklarda HSPA 3.5G, HSPA+ ise 3.75G olarak da adlandırılmaktadır.

2.4. 4G (Fourth Generation)

2010 yılı itibariyle mobil hücresel ağ teknolojilerinin kullanmaya başladığı 4G ağ modeli, günümüz itibariyle de çeşitli geliştirilmiş versiyonları ile dünya genelinde aktif olarak kullanılan mobil hücresel ağ jenerasyonudur. İletim hızı olarak 100Mbps gibi hızları destekleyen bu ağda, Long Term Evolution

(LTE) ve Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access (M-WIMAX) gibi erişim teknolojileri kullanılmaktadır. LTE advanced, LTE advanced pro (4.5G olarak da adlandırılabilir.) ve 4.5G+ gibi gelişmiş ağ versiyonları ile kullanıcı deneyimini oldukça yükselten bu ağlarda, Orthogonal/Single Carrier frequency-division multiplexing (OFDM / SC-OFDM) çoğullama teknolojisi kullanılmaktadır [5]. Veri iletim modelinde ise paket anahtarlama (Packet switching) kullanılmaktadır.

2.5. 5G (Fifth Generation)

2015 yılı itibarıyla duyurulan yeni nesil 5G ağları, mevcut tarihlere tüm lokasyonlarda kullanılsa da bazı ülkelerde kullanılmadığı. Son versiyon olan bu hücresel ağ modeli, WWW (World Wide Wireless Web) and IPv6 teknolojileri ile donatılmış güçlü bir hücresel yapıya sahiptir. Veri iletim hızı 1Gbps'dan daha yüksektir. Yüksek kapasiteli kapsama alanları ile kullanıcı mobilitesinin sıklığı ve kapsamına bakılmaksızın, büyük coğrafik alanlarda servis sağlayabildiği için yüksek bir kullanıcı deneyimi sunmaktadır. Altyapısında barındırdığı teknolojilerle, 5G ağları oldukça güvenli bir iletişim altyapısına sahiptir [6]. Hem devre anahtarlama (Circuit switching) hem de paket anahtarlama (Packet switching) teknolojilerinin bir arada bulunduğu bu ağlarda, CDMA ve Beam Division Multiple Access (BDMA) çoğullama teknolojisi kullanılmaktadır. Akıllı şehirlerin gelişimi, sağlık hizmetleri için hassas gecikme ve hata toleransı olmayan uygulamalar ve IOT (Internet Of Things) cihazlarının sorunsuz iletişimi için yüksek veri hızları ve bant genişliği sunan bu yeni nesil ağ,

MEC (Mobile Edge Computing) sistemiyle birlikte gecikme yönünden hassas bazı uygulamalar (Augmented Reality, Streaming vb.) için düşük gecikme süreleri ile servis sağlamaktadır [7,8]. MEC sistemi cloud kaynaklarının (Execution, Storage vb.) kullanıcıya daha yakın şekilde konumlandırılmış yaklaşımını temel alan bir teknolojidir [9].

Merkezi cloud sistemleri sabit bir konumda servis sağladıkları için uzun gecikme sürelerine sebep olmaktadır. 5G altyapısı ve sunduğu iletim hızı desteği ile cloud kaynakları, dağıtık bir şekilde 5G hücresel ağlarının erişim noktalarına konumlandırıldığı bir senaryo son yıllarda ortaya çıkmıştır. Son kullanıcıya yakınlığı ile düşük gecikme süreleri ile servis sağlayan MEC sistemi büyük uygulamaların mobil tarafında da sorunsuz şekilde kullanılmalarına katkı sağlamaktadır. Ayrıca bu kaynakların kullanımı ile mobil cihazlar enerji tasarrufu ile pil tüketimlerini çok düşük seviyelere çekebilmektedirler. 5G ağları sahip oldukları güçlü ağ kaynakları ile bu sistemlerin sorunsuz şekilde servis sağlanmalarında anahtar rol oynamaktadırlar.

3. Özellik ve Performans Karşılaştırması

Bu bölümde yukarıda derlenen hücresel ağ modellerinin genel yapısı tablolar halinde verilerek, yıllara göre değişen ve gelişen ağ şartlarındaki iyileşmeler ortaya konmuştur. Yüksek çözünürlüklü videolar, canlı yayınlar vb. uygulama verilerinin mobil cihazlarda kullanımıyla birlikte bu cihazların ağ kullanımı giderek artmaktadır. Bu artış mevcut ağların yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Mevcut bir ağ ortamındaki kullanıcıların sorunsuz şekilde iletişime devam etmeleri için var olan ağların iyileştirilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Artan cihaz ve kullanıcı sayısı ile ağ şartlarındaki iyileşmeler doğru orantılı bir şekilde artış göstermiştir. Yıllar içinde birçok yeni teknoloji geliştirilmiş veya var olan teknolojiler iyileştirilmiştir. Bu kapsamda bu bölümde ağların sunduğu veri iletim hızları, kullandıkları standartlar ve birçok yeni teknoloji derlenmiştir. Yeni teknolojiler bazı eski teknolojilerin yerini almış veya var olan teknolojiler güncel halleriyle daha performanslı hale getirilerek kablosuz ağ teknolojilerine dahil edilmiştir. Belli standartlar yetersiz kaldığı için kullanıcı sayısının daha az olduğu kırsal alanlarda kullanımına devam edilmiştir. Yoğun kullanıcıların bulunduğu alanlarda ise yeni ve gelişmiş teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır.

Tablo 1. Ağların Genel Özellikleri

Nesiller	Yıl	Standartlar	Servisler	Çoğullama Teknolojileri	Anahtarlama	İletim Hızı
1G	1980	AMPS	Ses	FDMA	Devre	2.4Kbps
2G	1990	GSM	Ses+Veri+Sms+Email	CDMA/TDMA	Devre	10Kbps
2.5G	2000	GPRS	Ses+Veri+Sms+Email +Mms	CDMA/TDMA	Devre/Paket	50Kbps
2.75G	2003	EDGE	Ses+ Veri +Sms+Email +Mms	CDMA/TDMA	Paket	144Kbps
3G	2001	UMTS	Ses+ Veri +Görüntülü Arama	CDMA-2000 WCDMA	Devre/Paket	384Kbps

Tablo 2. Ağların Genel Özellikleri

Nesiller	Yıl	Standartlar	Servisler	Çoğullama Teknolojileri	Anahtarlama	İletim Hızı
3.5G	2003	HSDPA	Ses+ Veri +Görüntülü Arama	CDMA-2000 WCDMA	Paket	2Mbps
3.75G	2003	HSUPA	Online Oyun + Yüksek Çözünürlükte Tv	CDMA-2000 WCDMA	Paket	30Mbps
4G	2010	LTE M-WIWiX	Online Oyun + Yüksek Çözünürlük Tv	OFDM SC-OFDM	Paket	100Mbps
4.5G	2014	LTE-PRO	Online Oyun + Yüksek Çözünürlük Video	OFDM SC-OFDM	Paket	300Mbps
5G	2015	WWWW	Yüksek Çözünürlükte Video + Sanal Gerçeklik Uygulamaları	BDMA	Paket	1Gbps+

4. Hücresel Ağların Geleceği

Tablo 1 ve 2’de derlenen genel özellikler hücresel ağlardaki gelişen ve değişen yeni teknolojilerin genel çerçevesini ortaya koymaktadır. Ses iletimi dışında servis sağlamayan 1G nesil ağdan sanal gerçeklik uygulamalarına kadar destek sunan 5G ağlarına ulaşan süreçte ağ koşulları ve kaynaklarının gelişimi gelecek nesil ağların da aynı çerçeve de gelişimi için bir ipucu niteliğindedir. Uçlar arası haberleşmede iletim modeli olarak paket ve devre anahtarlama metotları kullanımı dışında yeni bir model kullanılmamıştır. Devre anahtarlama modeli sonraki ağ nesillerinde yerini tamamen paket anahtarlama modeline bırakmıştır. Devre anahtarlama modelinde uç düğümler arasında özel ayrılmış haberleşme yolu oluşturulur. Bağlantı boyunca ayrılan bu yol kurulu kalır ve veri iletimi bu yol üzerinden gerçekleştirilir. Bağlantı sonuna kadar bu iletişim yoluna başka bir uç düğümün girmesi söz konusu değildir. Paket anahtarlama da ise veri küçük boyutlarda paketlere ayrılarak uçlar arası paylaşılır. Devre anahtarlama da ki gibi bir veri yolu kurmaya gerek yoktur ve veriler farklı yol kullanarak diğer uç birime ulaşabilirler. Çoğullama teknolojileri mevcut bant genişliğinin o andaki kullanıcılar arasında nasıl paylaşılacağını belirleyen bir teknolojidir.

Belli aralıklarda yeni nesil hücresel ağların gelişimi ve kaynak kapasitelerinin artışı, artan cihaz ve kullanıcı sayısı baz alındığında kaçınılmaz hale gelmektedir. Cisco ve benzeri kuruluşların gelecek yıllar için tahmini kullanıcı ve cihaz sayıları baz alınarak, bu sayılara cevap verebilecek kapasitede yeni ağ modelleri geliştirilmeye devam edilecektir. Bu kapsamda son versiyon olan hücresel kablosuz ağ teknolojisi 5G ile entegre şekilde çalışabilecek veya onun yerini alabilecek 6G, 7G veya 7.5G gibi temel ağ teknolojilerinin ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir. Literatürde gelecek nesil hücresel ağ teknolojilerinin nasıl şekillenmesi gerektiği ve beklenen ağ kaynaklarının özelliklerinin nasıl olması gerektiği konusunda bazı çalışmalar mevcuttur. [10-12]’de yazarlar 6G ve 7G gibi gelecek nesil ağların genel yapısı hakkında ve bu ağlarda mevcut olması beklenen teknolojiler hakkında bazı çıkarımlar yapmışlardır. Yeni nesil 6G ve 7G ağ modellerinde son model olan 5G ağlarından temel fark kapsama alanındaki büyük değişiklikler olarak ortaya konmuştur. 5G ve öncesi ağ nesillerinde kullanıcıların hizmet aldığı kapsama alanlarına ek olarak global bir kapsama alanı sunmak için uydularla entegre bir kapsama alanı yapısı beklendiği vurgulanmaktadır. Global position system (GPS), COMPASS, Galileo, GLONASS gibi birçok uydu ağının olduğu mevcut

durumda, bu uydu ağları arasında hand-off ve roaming gibi servis migrasyonlarının sağlanmasında bazı zorluklar ve maliyetler olacağı belirtilmektedir.

Tablo 3. 6G ve 7G Ağlarının Genel Özellikleri

Nesiller	Yıl	Çoğullama	Veri İletim Hızı	Standartlar
6G	2030	CDMA	11GBPS	Global Uydu Ağları
7G	2030	CDMA	11GBPS+	Global Uydu Ağları

Bu sorunların yanı sıra tablo 3’de de gösterildiği üzere bu ağların veri iletim hızlarının 11Gbps ve üstü olacağı ön görülmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada kablosuz hücrel ağ teknolojilerinin genel çerçevesi ele alınmıştır. Bu kapsamda geçmişten günümüze değişen ve gelişen hücrel ağların ağ kaynaklarındaki gelişmeler, kullanılan teknolojiler ve gelecek yıllarda ortaya çıkması beklenen bazı ağ modelleri hakkında bir ön görüş sağlanması hedeflenmiştir. Kullanıcı taleplerinin mobil tarafa kayması ve mobil cihazların kullanımının artışı, iletişim kısmında da bu cihazların mobilitesi göz önünde alındığında kablosuz iletişim teknolojilerinin en temel iletişim ağı olarak hücrel ağlara olan ihtiyacı doğrudan arttırmaktadır. Büyüyen cihaz ve kullanıcı havuzu ile hücrel ağların gelişimi sürekli olarak devam edeceği ön görülmektedir.

Kaynakça

- [1] Cisco, U. (2020). “Cisco annual internet report (2018–2023)”,<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- [2] Yadav, R. (2017, March). “Challenges and evolution of next generations wireless communication.” In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol. 2).
- [3] del Peral-Rosado, J. A., Raulefs, R., López-Salcedo, J. A., & Seco-Granados, G. (2017). “Survey of cellular mobile radio localization methods: From 1G to 5G.” IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20(2), 1124-1148.
- [4] Mondal, S., Sinha, A., & Routh, J. (2015). A survey on evolution of wireless generations 0G to 7G. International Journal of Advance Research in Science and Engineering (IJARSE), 1(2), 5-10.
- [5] Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). “A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies.” IEEE access, 3, 1206-1232.
- [6] Gohil, A., Modi, H., & Patel, S. K. (2013, March). 5G technology of mobile communication: A survey. In 2013 international conference on intelligent systems and signal processing (ISSP) (pp. 288-292). IEEE.

- [7] Ezhilarasan, E., & Dinakaran, M. (2017, February). A Review on mobile technologies: 3G, 4G and 5G. In 2017 second international conference on recent trends and challenges in computational models (ICRTCCM) (pp. 369-373). IEEE.
- [8] Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(3), 1617-1655.
- [9] Habibi, M. A., Nasimi, M., Han, B., & Schotten, H. D. (2019). A comprehensive survey of RAN architectures toward 5G mobile communication system. IEEE Access, 7, 70371-70421.
- [10] Mihret, E. T., & Haile, G. (2021). “4G, 5G, 6G, 7G and Future Mobile Technologies.” J Comp Sci Info Technol, 9(2), 75.
- [11] Tidke, R. P., Uttarwar, P. S., Dandwate, D. S., & Tupe, U. J. (2020). A Literature Review On: Wireless Technologies From 0G to 7G.
- [12] Shoewu, O. O., & Ayangbekun. (2020). Oluwafemi, J. Insights into the development trends in 7G mobile wireless networks.



Amplitude Responses at Flexural Eigenmodes in Dynamic Acoustic Force Measurement Using Multimodal Excitation Schemes

Cagri Yilmaz^{1*}, Eyup Sabri Topal²

^{1*} Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2976-1044), cagriyilmaz@akdeniz.edu.tr

² Akdeniz University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Antalya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3974-060X), estopal@akdeniz.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.991652)

ATIF/REFERENCE: Yilmaz, C., Topal, E. S. (2021). Amplitude Responses at Flexural Eigenmodes in Dynamic Acoustic Force Measurement Using Multimodal Excitation Schemes. *European Journal of Science and Technology*, (28), 120-125.

Abstract

In this paper, we present a computational investigation to study amplitude sensitivities to acoustic forces in a wide frequency range. We utilize bimodal, trimodal, and tetramodal excitation schemes for the actuation of the Atomic Force Microscopy (AFM) micro-cantilever in the presence of dynamic acoustic forces. In multimodal operations, the micro-cantilever is driven by applying external excitation forces at eigenmode angular frequencies. The Equation of Motion (EOM) is constructed in the consideration of the driven and damped harmonic oscillator as a model and solved numerically to obtain the deflections of the micro-cantilever at flexural eigenmodes. In this current work, time-domain responses of the micro-cantilever to acoustic forces are introduced for different excitation schemes so that free oscillations are compared with the oscillations of the driven micro-cantilever undergoing acoustic forces. Then, we evaluate the results of amplitude responses at the first four eigenmodes with respect to acoustic force frequencies for diverse force strengths. For our case, we obtain the amplitude response at the fourth eigenmode of around 0.303 nm for the force strength of 2900 pN at the frequency of 1740 kHz. This result proves that acoustic forces at megahertz frequencies are measured by using resonant AFM micro-cantilever under tetramodal operation. Therefore, multimodal excitation schemes can be applied to enhance the amplitude sensitivities to dynamic acoustic forces.

Keywords: Dynamic acoustic force measurement, AFM micro-cantilever, amplitude responses, multifrequency excitation, eigenmode frequency.

Çok Modlu Tahrik Şemalarının Kullanıldığı Dinamik Akustik Kuvvet Ölçümünde Eğilme Özmodlarındaki Genlik Tepkileri

Öz

Bu makalede geniş bir frekans aralığındaki akustik kuvvetlere karşı genlik duyarlılıklarını incelemek için hesaplamalı bir araştırma sunmaktayız. Dinamik akustik kuvvetlerin varlığında Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM) mikro konsolunun çalıştırılması için iki modlu, üç modlu ve dört modlu tahrik şemalarını kullanmaktayız. Çok modlu işlemlerde, mikro konsol, özmod açılmalık frekanslarındaki dış tahrik kuvvetleri uygulanarak sürülmektedir. Hareket Denklemi (HD), sürülen ve sönümlü harmonik osilatörün bir model olarak dikkate alınmasıyla oluşturulmuştur ve mikro konsolun eğilme özmodlarındaki sapmalarını elde etmek için sayısal olarak çözülmüştür. Bu güncel çalışmada mikro konsolun akustik kuvvetlere olan zaman alanındaki tepkileri, farklı tahrik şemaları için sunulmuştur, böylece serbest salınımlar, akustik kuvvetlere maruz kalan ve tahrik edilen mikro konsolun salınımları ile karşılaştırılmıştır. Ardından, çeşitli kuvvet büyüklükleri için akustik kuvvet frekanslarına göre ilk dört özmoddaki genlik tepkilerinin sonuçlarını değerlendirmekteyiz. Bizim durumumuz için 1740 kHz frekansındaki 2900 pN'lik kuvvet büyüklüğü için dördüncü öz modda yaklaşık 0.303 nm'lik bir genlik tepkisi elde etmekteyiz. Bu sonuç megahertz frekanslarındaki akustik kuvvetlerin, tetramodal operasyon altındaki rezonanslı AFM mikro konsol kullanılarak ölçüldüğünü kanıtlamaktadır. Sonuç olarak, dinamik akustik kuvvetlere karşı genlik duyarlılıklarını arttırmak için çok modlu tahrik şemaları uygulanabilmektedir.

* Corresponding Author: cagriyilmaz@akdeniz.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Dinamik akustik kuvvet ölçümü, AKM mikro konsol, genlik tepkileri, çok frekanslı tahrik, özmod frekansı.

1. Introduction

Localized stress-strain fields in materials generate transient elastic waves. Acoustic emissions rely on rapid release of strain energy derived from material deformations (Saboonchi & Ozevin, 2013). Phase transformation, dislocation in crystal lattice, and crack nucleation are some of the structural irregularities considered as source mechanisms of acoustic emissions (Feng, Tsai, & Jeng, 2012; Feng & Tsai, 2010). Moreover, the failure modes of composite materials are distinguished based on the frequencies of acoustic waves (Lee & Tsuda, 2005). To illustrate, for the carbon/epoxy material, matrix cracking generates acoustic emissions at frequencies in the range of 90-180 kHz. In addition, acoustic emissions at frequencies in the range of 240-310 kHz are released due to failure mechanisms of debonding (de Groot, Wijnen & Janssen, 1995). The studies on the characterization of acoustic emissions provide essential insights into the researches dealing with measurement sensitivities to acoustic emissions.

Acoustic transducers typically operate in a broadband frequency range from 100 kHz to 1 MHz (Guo, Song, Ghalambor & Lin, 2014). In this current work, we investigate the amplitude sensitivities to the acoustic force frequency up to 1.8 MHz using resonant AFM micro-cantilever under multimodal operations. Accordingly, acoustic force strengths can be determined by converting amplitudes of acoustic waves to sound pressure levels (Pa) which is effective on the one-side surface of the micro-cantilever (Yilmaz, Sahin & Topal, 2021). The following studies deal with the actuation of the micro-cantilever by acoustic forces and the detection of acoustic emissions. Laser-induced photoacoustic emissions are utilized to excite two micro-cantilevers and their oscillation characteristics are explored (Demirkiran, Karakuzu, Erkol, Torun & Unlu, 2018). In another work, responses of the acoustically driven micro-cantilever are investigated for different environmental conditions (Xu & Raman, 2007). Furthermore, acoustic emissions are measured by using the micro-cantilever excited at resonance frequencies in the consideration of ambient air pressures (Takata et al., 2014).

In this study, we utilize multimodal operations such as bimodal, trimodal, and tetramodal excitations to increase amplitude sensitivities to dynamic acoustic forces. In our earlier work, amplitude sensitivity at the second eigenmode to acoustic force strength was enhanced by using the bimodal-frequency excitation scheme (Yilmaz et al., 2021). In the following works, multifrequency excitation schemes are utilized to improve the observable sensitivities in AFM operations. Amplitude and phase responses obtained utilizing the pentamodal excitation scheme are introduced for the tapping-mode AFM (Solares, An & Long, 2014). In another work, computational simulation of tetramodal and pentamodal micro-cantilever dynamics is performed to acquire oscillation observables at the first four or five flexural eigenmodes (An, Solares, Santos & Ebeling, 2014). Besides, changes in the frequency responses at higher eigenmodes are obtained in bimodal and trimodal operations (Solares & Chawla, 2010).

In this paper, we introduce the time-domain oscillations and amplitude responses to dynamic acoustic forces at the first four eigenmodes of the micro-cantilever. Bimodal, trimodal, and tetramodal operations are performed to investigate amplitude sensitivities for diverse strengths of acoustic forces in a wide frequency range. The results are evaluated in the consideration of flexural mode interactions in multifrequency excitations.

2. Multimodal Excitation Model

In this section, we introduce a multifrequency excitation model for the measurement of dynamic acoustic forces. In multimodal operations, the micro-cantilever is driven by external excitation forces at eigenmode angular frequencies. The micro-cantilever is regarded as a point-mass object. The EOM is constructed considering the driven and damped harmonic oscillator model and solved numerically to obtain deflections at flexural eigenmodes. The second order differential equation describing dynamics of the driven micro-cantilever undergoing acoustic force is given below.

$$m_e \ddot{z}_i(t) = -k_i z_i(t) - \frac{m_e \omega_i}{Q_i} \dot{z}_i(t) + F_{exc} + F_{Acoustic} \quad (1)$$

In Eq. (1), z_i , m_e , k_i , ω_i , and Q_i are the instantaneous deflection, the effective mass, the stiffness, the angular resonance frequency, and the quality factor of the flexural eigenmode i of the micro-cantilever respectively. The AFM micro-cantilever operates in air of which influence is represented by the quality factor (Yilmaz et al., 2021). The external excitation force $F_{exc,i}$ is introduced as follows.

$$F_{exc} = \sum_{i=1}^m F_{exc,i} = \sum_{i=1}^m F_i \cos(\omega_i t) \quad (2)$$

In Eq. (2), m is set to 2, 3, and 4 for the bimodal, trimodal, and tetramodal excitations respectively. F_i is the acoustic force strength at the eigenmode angular frequency ($\omega_i = 2\pi f_i$). For our case, responses of the resonant micro-cantilever to dynamic acoustic forces are explored for multimodal operations. Dynamic acoustic force $F_{Acoustic}$ is formulated as cosine wave at angular frequency ($\omega_{Ac} = 2\pi f_{Ac}$) with acoustic force strength F_{Ac} (Eq. (3)).

$$F_{Acoustic} = F_{Ac} \cos(\omega_{Ac} t) \quad (3)$$

Total deflection z_{tot} of the micro-cantilever under multimodal operations is approximated as in Eq. (4) (Lozano & Garcia, 2008).

$$z_{tot}(t) = \sum_{i=1}^m z_i(t) + E(\epsilon) \approx \sum_{i=1}^m A_i \cos(\omega_i t - \phi_i) \quad (4)$$

A_i is the amplitude and ϕ_i is the phase shift at flexural eigenmode i in Eq. (4). $E(\epsilon)$ represents contributions of higher modes. Since the micro-cantilever is driven at resonance frequencies, the influences of the dynamic acoustic forces on periods of oscillations are ignored. Instantaneous deflection at flexural eigenmode i can be extracted from total deflection to determine amplitude and phase shift at flexural eigenmode i .

3. Numerical Simulation

In numerical calculations, the EOM (Eq. (1)) is solved using the Fourth order Runge-Kutta method. Amplitude responses to acoustic forces are determined for the flexural eigenmodes in bimodal, trimodal, and tetramodal operations. The AFM micro-cantilever has a rectangular cross-section with a length (l) of 225 μm , width (w) of 40 μm , and thickness (t) of 1.8 μm as given in (Lozano & Garcia, 2008).

Table 1. Frequency, stiffness and quality factor at flexural eigenmode i of the micro-cantilever. K_i are the real roots of a characteristic equation of the micro-cantilever ($1 + \cos(K_i) \cosh(K_i) = 0$)

Flexural eigenmode - i	K_i	Frequency - f_i (kHz) $f_i = f_1 \left(\frac{K_i}{K_1}\right)^2$	Stiffness - k_i (N/m) $k_i = k_1 \left(\frac{f_i}{f_1}\right)^2$	Quality factor - $Q_i = Q_1 \frac{f_i}{f_1}$
1	1.875	48.9	0.9	255.0
2	4.694	306.7	35.4	1598.9
3	7.855	858.4	277.2	4475.3
4	10.996	1682.1	1064.7	8769.5

The mass density ρ of the micro-cantilever, made of silicon material, is equal to $2320 \frac{kg}{m^3}$. The effective mass m_e of the micro-cantilever is determined using the following expression as in (Skrzypacz, Nurakhmetov, & Wei, 2019).

$$m_e = \frac{33}{140} lwt\rho \tag{5}$$

Micro-cantilever properties for the first four eigenmodes are introduced in Table. 1 (Garcia & Herruzo, 2012). In the numerical simulation, the acoustic force frequencies are generated in the range of 0-1800 kHz with a step of 10 kHz. Strengths of dynamic acoustic forces are set to 60, 1400, and 2900 pN, which are in the range of sound pressure levels from 50.5 to 84.1 dB, for multimodal operations (Yilmaz et al., 2021; Svoren, Nascak, Koleda, Barcik, & Nemeč, 2021). The magnitudes of the excitation forces at the first four eigenmodes are 35.3, 66.4, 185.8, and 364.2 pN respectively. Initial conditions, i.e. initial deflections and velocities, are set to zero for solving the EOM (Eq. (1)) numerically. The total time interval of the numerical simulation is between 19.12 and 19.19 ms.

4. Results

Firstly, free oscillations and oscillations in the presence of dynamic acoustic forces are introduced for bimodal, trimodal, and tetramodal excitations in this section. Then, amplitude sensitivities to acoustic forces on the frequency domain are given for diverse force strengths.

The oscillations at the first four eigenmode frequencies obtained using multimodal excitations are illustrated in Fig. 1. Oscillations at eigenmode angular frequencies in the measurement of acoustic forces at diverse frequencies are obtained by solving the EOM (Eq. (1)) numerically in Matlab. Free oscillations and oscillations under dynamic acoustic forces are compared and evaluated in the Discussion section.

Time-varying values of amplitudes at flexural eigenmodes can be determined over the periods of oscillations (Lopez-Guerra, Somnath, Solares, Jesse, & Ferrini, 2019). For all calculations, we determine an amplitude per period by taking an average of first two amplitudes in the time interval between 19.14 and 19.19 ms. The amplitude responses on the domain of acoustic force frequency are depicted in in Fig. 2 and the results are assessed in the Discussion section.

5. Discussion

As it is illustrated in Fig. 1(a), the highest amplitude response is obtained using tetramodal frequency excitation. This result proves that amplitude sensitivity at the first eigenmode is enhanced by applying driving forces at higher eigenmode frequencies simultaneously. Moreover, slight phase shifts among multimodal excitations exist for this case. In addition, it is worth mentioning that negligible amplitude differences among free oscillations and oscillations obtained in the measurement of acoustic forces at 50 kHz are prevalent for all cases. Accordingly, the free oscillations do not respond significantly to acoustic forces with the strength of 60 pN irrespective of multimodal operation. On the other hand, when the acoustic force frequency is increased from 50 to 320 kHz, amplitude response ascents significantly considering the ratios of changes in the amplitudes to the free oscillation amplitudes (Fig. 1(b)). Herein, in the absence of acoustic force, the driven micro-cantilever oscillates in the negative range over particular periods owing to the interaction of flexural modes in multimodal excitations. More interestingly, more amplitude sensitivity is obtained using a bimodal excitation scheme rather than trimodal and tetramodal excitations. Here, we infer that excitation parameters, i.e. magnitudes of driving forces, are to be optimized to improve amplitude sensitivities to acoustic forces at particular frequencies in multimodal excitations.

As it is depicted in Fig. 1(c), significant increases in amplitude responses are evident in trimodal and tetramodal operations. We remark that notable phase shifts among these operations also exist for the measurement of acoustic force at the frequency of 890 kHz. As expectedly, the amplitude difference between the free oscillation and the oscillation in the presence of acoustic force at the frequency of 1740 kHz is clearly observed under tetramodal excitation (Fig. 1(d)). We would like to emphasize that sensitivities of oscillation observables such as amplitude and phase shift to acoustic forces become quite evident at higher frequencies.

Amplitude responses to acoustic forces on the frequency domain are determined for diverse strengths of acoustic forces. As it is illustrated in Fig. 2, the highest amplitude responses at the first four eigenmodes are obtained in the measurement of acoustic forces with the strength of 2900 pN at the frequency of 50, 320, 890, and 1740 kHz respectively. The oscillations in the presence of these acoustic forces are depicted in Fig. 1 for the multimodal operations. More interestingly, negative values of the amplitudes indicate that the micro-cantilever oscillates below the equilibrium point.

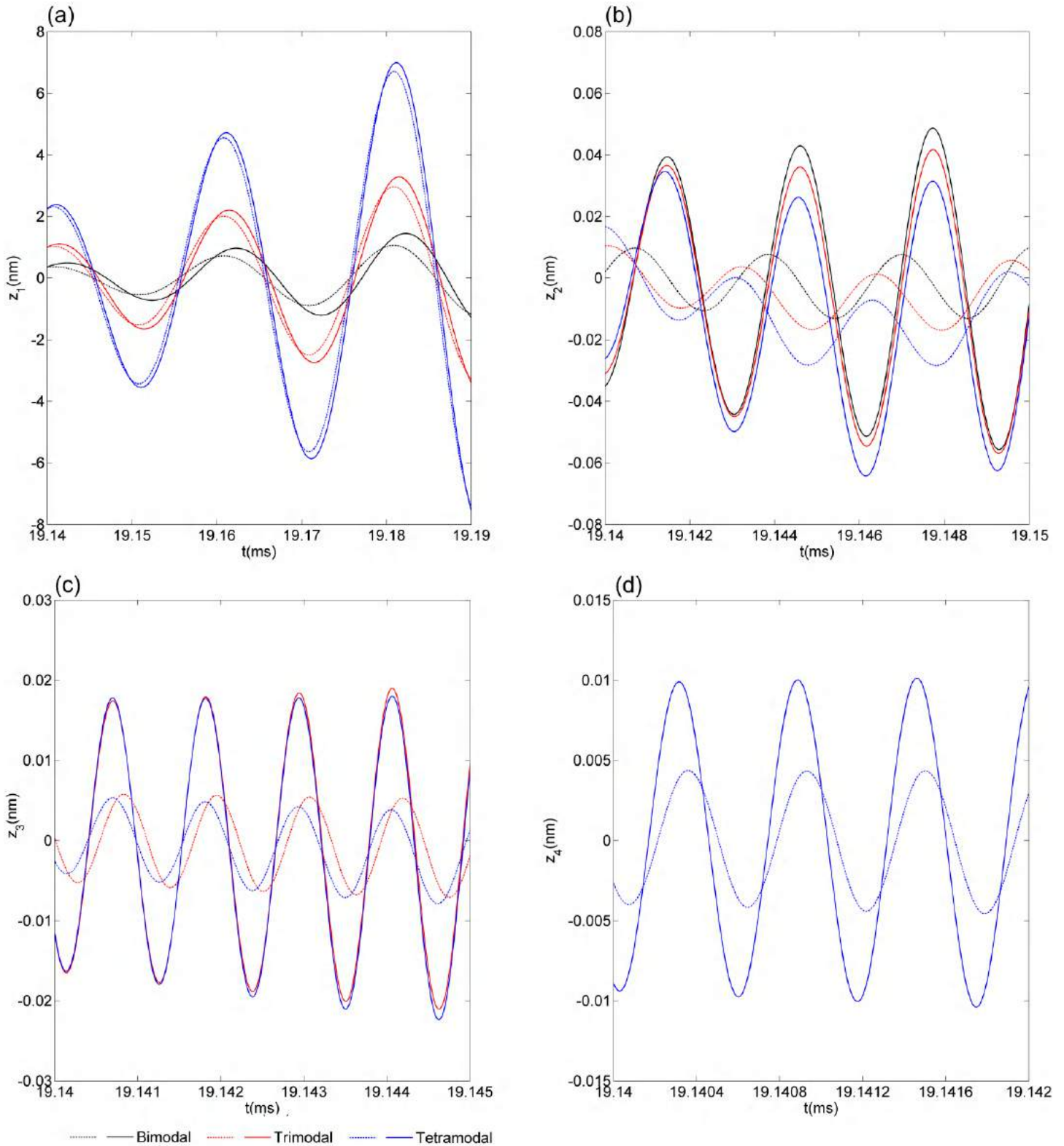


Fig. 1. Free oscillations and oscillations of the driven micro-cantilever in the presence of dynamic acoustic forces with the force strength of 60 pN for multifrequency excitations. (a) Free oscillations and oscillations in measurement of acoustic force at the frequency of 50 kHz at the first eigenmode frequency. (b) Free oscillations and oscillations in measurement of acoustic force at the frequency of 320 kHz at the second eigenmode frequency. (c) Free oscillations and oscillations in measurement of acoustic force at the frequency of 890 kHz at the third eigenmode frequency. (d) Free oscillation and oscillation in measurement of acoustic force at the frequency of 1740 kHz at the fourth eigenmode frequency. Solid lines indicate the oscillations of the micro-cantilever in the presence of acoustic forces, whereas dashed lines indicate the free oscillations, obtained in the absence of acoustic force.

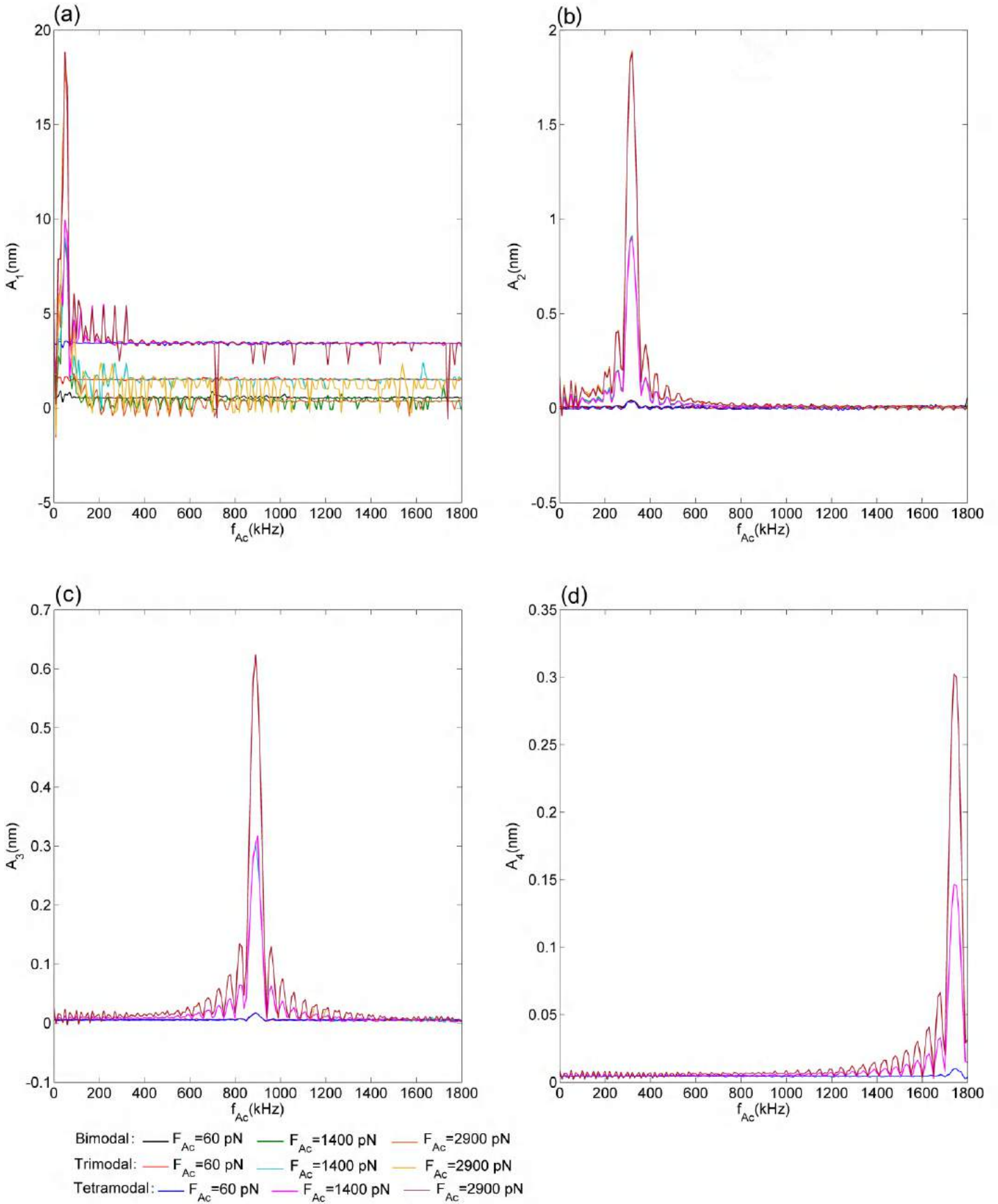


Fig. 2. Amplitude responses to acoustic forces on the frequency domain for different force strengths under multimodal operations. (a) Amplitude responses at the first eigenmode. (b) Amplitude responses at the second eigenmode. (c) Amplitude responses at the third eigenmode. (d) Amplitude responses at the fourth eigenmode.

Amplitude responses at the first eigenmode can be distinguished among different acoustic force strengths in bimodal, trimodal, and tetramodal operations. Interaction of flexural modes in each multimodal excitation has notable influences on the amplitude sensitivities at the first eigenmode on the frequency domain (Fig. 2(a)). On the other hand, differences among amplitude responses for multimodal excitations are not prevalent as it is illustrated in Fig. 2(b)(c)(d). More significantly, flexural mode interaction owing to the simultaneous application of driving forces at eigenmode frequencies does not occur at higher frequencies depending on the eigenmode frequencies and quality factors. Furthermore, an increase in force strength results in an increase in amplitude response irrespective of multimodal operation as expectedly. For our case, the amplitude response of around 0.303 nm is obtained for the acoustic force strength of 2900 pN at the frequency of 1740 kHz. This result proves that amplitude sensitivity to acoustic force at megahertz frequency is achieved by driving the AFM micro-cantilever under tetramodal excitation.

6. Conclusion

The simulation results indicate that amplitudes at the first four eigenmodes exhibit different responses on the domain of acoustic force frequency. Interaction of flexural modes occurs in multimodal operations in the consideration of amplitude responses at the first eigenmode. On the other hand, remarkable differences among amplitudes at higher eigenmodes are not evident for bimodal, trimodal, and tetramodal excitations. Herein, we infer that amplitude sensitivities can be improved by optimizing the excitation parameters such as magnitudes of driving forces at eigenmode frequencies. In addition, the response of the micro-cantilever to dynamic acoustic forces ascends considerably as the acoustic force strength increases irrespective of multifrequency excitation scheme. Furthermore, it is worth mentioning that we obtain high-sensitivity frequency regions near eigenmode frequencies of the micro-cantilever. Accordingly, the micro-cantilever with optimum mechanical characteristics, i.e. eigenmode frequencies, can be selected to achieve high sensitivity to acoustic force in a desired frequency band. Moreover, acoustic forces at megahertz frequency can be measured using resonant AFM micro-cantilever under tetramodal operation. For our case, we acquire significant amplitude sensitivities to acoustic forces at the frequency of 1740 kHz for the force strength in the range of 60-2900 pN. Therefore, resonant AFM micro-cantilevers driven under multifrequency excitations can be utilized to improve amplitude sensitivities to dynamic acoustic forces.

References

Saboonchi, H., & Ozevin D. (2013, August). MEMS acoustic emission transducers designed with high aspect ratio geometry. *Smart Materials and Structures*, 22(9), 095006.

Feng, G. H., Tsai, M. Y., & Jeng, Y. R. (2012, December). A micromachined, high signal-to-noise ratio, acoustic emission sensor and its application to monitor dynamic wear. *Sensors and Actuators A: Physical*, 188(1), 56-65.

Feng, G. H., & Tsai, M. Y. (2010, July). Acoustic emission sensor with structure-enhanced sensing mechanism based on micro-embossed piezoelectric polymer. *Sensors and Actuators A: Physical*, 162(1), 100-106.

Lee, J. R., & Tsuda, H. (2005, November). A novel fiber bragg grating acoustic emission sensor head for mechanical tests. *Scripta Materilia*, 53(10), 1181-1186.

De Groot, P. J., Wijnen, P. A. M., & Janssen, R. B. F. (1995, August). Real-time frequency determination of acoustic emission for different fracture mechanisms in carbon/epoxy composites. *Composite Science and Technology*, 55(4), 405-412.

Guo, B., Song, S., Ghalambor, A., & Lin, T. R. (2013, July). An Introduction to Condition-Based Maintenance. *Offshore Pipelines* (pp. 257-297). Boston, U.S.A.: Gulf Professional Publishing.

Yilmaz, C., Sahin, R., & Topal, E. S. (2021, July). Exploring the static acoustic force sensitivity using AFM micro-cantilever under single- and bimodal-frequency excitation. *Measurement Science and Technology*, 32(11), 115001.

Demirkiran, A., Karakuzu, A., Erkol, H., Torun, H., & Unlu, M. B. (2018, February). Analysis of microcantilevers excited by pulsed-laser-induced photoacoustic waves. *Optics Express*, 26(4), 4906-4919.

Xu, X., & Raman, A. (2007, August). Comparative dynamics of magnetically, acoustically, and brownian motion driven microcantilevers in liquids. *Journal of Applied Physics*, 102(3), 034303.

Takata, K., Sasaki, T., Tanaka, M., Saito, H., Matsuura, D., & Hane, K. (2014, July). Fabrication of Ultrasonic Sensors Using Micro Cantilevers and Characteristic Measurement in Vacuum for Acoustic Emission Sensing. *IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines*, 134(7), 212-217.

Solares, S. D., An, S., & Long, C. J. (2014, September). Multi-frequency tapping-mode atomic force microscopy beyond three eigenmodes in ambient air. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 5(1), 1637-1648.

An, S., Solares, S. D., Santos, S., & Ebeling, D. (2014, November). Energy transfer between eigenmodes in multimodal atomic force microscopy. *Nanotechnology*, 25(47), 475701.

Solares, S. D., & Chawla, G. (2010, November). Frequency response of higher cantilever eigenmodes in bimodal and trimodal tapping mode force microscopy. *Measurement Science and Technology*, 21(12), 125502.

Lozano, J. R., & Garcia, R. (2008, February). Theory of Multifrequency Atomic Force Microscopy. *Physical Review Letters*, 100(7), 076102.

Skrzypacz, P., Nurakhmetov, D., & Wei, D. (2019, November). Generalized stiffness and effective mass coefficients for power-law Euler-Bernoulli beams. *Acta Mechanica Sinica*, 36(1), 160-175.

Garcia, R., & Herruzo, E. T. (2012, April). The emergence of multifrequency force microscopy. *Nature Nanotechnology*, 7(1), 217-226.

Svoren, J., Nascak, L., Koleda, P., Barcik, S., & Nemeč, M. (2021, August). The circular saw blade body modification by elastic material layer effecting circular saws sound pressure level when idling and cutting. *Applied Acoustics*, 179(1), 108028.

Lopez-Guerra, E. A., Somnath, S., Solares, S. D., Jesse, S., & Ferrini, G. (2019, September). Few-cycle Regime Atomic Force Microscopy. *Scientific Reports*, 9(1), 12721.



Plastik Enjeksiyon Tezgâhlarında Vida Kırılmasının Akustik Emisyon Yöntemi ile Tespit Edilmesi

Halil Kılıç^{1*}, Mustafa Timur²

^{1*} Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine Programı, Kırklareli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6182-356X),

halil.kilic@klu.edu.tr

² Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4569-0450),

mustafa.timur@adu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.991899)

ATIF/REFERENCE: Kılıç, H. & Timur, M. (2021). Plastik Enjeksiyon Tezgâhlarında Vida Kırılmasının Akustik Emisyon Yöntemi ile Tespit Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 126-129.

Öz

Günümüzde dünyada plastik üretimi 400 milyon tona ulaşmıştır. Bu büyük artışta plastik ürün tasarımı, kalıp imalatı ve plastik enjeksiyon makinelerinin rolü oldukça fazladır. Dolayısıyla üretimde oluşabilecek problemlerin önceden tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması üretim verimliliği bakımından büyük önem arz etmektedir. Plastik Enjeksiyon tezgâhları günümüzde üretimin yoğun olarak yapıldığı ve ürün kalitesinin makine performansına göre değerlendirildiği tezgâhlardır. Tezgâhların 7/24 saat çalışması ve bakım süreçlerinin zamanında yapılamaması, vida mili kırılması, hidromotor ve işlemci arızaları gibi üretimde problemlere neden olmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi büyük maliyetler ve üretimde zaman kaybına neden olmaktadır. Özellikle vida mili arızasında tezgâh tamamen kontrol dışı olmakta ve 3-4 aylık zaman diliminde vida mili yenisi ile değiştirilerek tekrar çalışmaktadır. Bu çalışmada, plastik enjeksiyon tezgâhlarında meydana gelen vida mili kırılma probleminin üretim esnasında oluşmaması için kesme kuvveti sinyallerinin akustik emisyon kullanılarak önceden tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Böylece yukarıda bahsedilen problemler önceden tespit edilerek üretimde meydana gelebilecek aksamaların önüne geçilmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Plastik enjeksiyon, Vida mili, Akustik emisyon.

Detection of Screw Breakage in Plastic Injection Machines by Acoustic Emission Method

Abstract

Today, plastic production in the world has reached 400 million tons. Plastic product design, mold manufacturing and plastic injection machines play a significant role in this huge increase. Therefore, it is of great importance to determine the problems that may occur in production and to take the necessary precautions in terms of production efficiency. Plastic Injection machines are machines where production is made intensively and product quality is evaluated according to machine performance. The 24/7 operation of the benches and the lack of timely maintenance processes cause problems in production such as screw shaft breakage, hydromotor and processor failures. Elimination of these problems causes great costs and loss of time in production. Especially in case of screw shaft failure, the machine is completely out of control and works again by replacing the screw shaft with a new one in 3-4 months. In this study, it is aimed to predict the cutting force signals using acoustic emission so that the screw shaft breakage problem that occurs in plastic injection benches does not occur during production. In this way, the above-mentioned problems will be determined in advance and the disruptions that may occur in production will be prevented.

Keywords: Plastic injection, Screw shaft, Acoustic emission.

* Sorumlu Yazar: halil.kilic@klu.edu.tr

1. Giriş

Enjeksiyon kalıplama tekniği, karmaşık geometrilere sahip parçaların yanı sıra çeşitli şekil ve boyutlarda parçalar üretmek için kullanılır. Plastik enjeksiyon kalıplama, plastik parçaların üretimi için uygulanan en yaygın işlemlerden biridir. Enjeksiyon işlemi, yüksek basınç altında ve yüksek hızlarda kalıbın sıcak eriyik ile doldurulduğu döngüsel bir süreçtir. Bunu, ortaya çıkan formun (ürün) kalıp içinde soğutulması ve son aşamada ürünün kalıptan çıkarılması izler (Rosato 2000). Bu döngü tipik olarak yaklaşık 20 sn sürer (Kozjek ve diğer. 2019). Enjeksiyon kalıplamanın çeşitli avantajlarına ve uygulamalarına rağmen, göz önünde bulundurulması gereken bazı faktörler, enjeksiyon basıncı, kalıp sıcaklığı, plastik eriyik sıcaklığı, soğutucu sıcaklığı, kalıptan çıkarma metodu ve makine teçhizatların bakımındır.

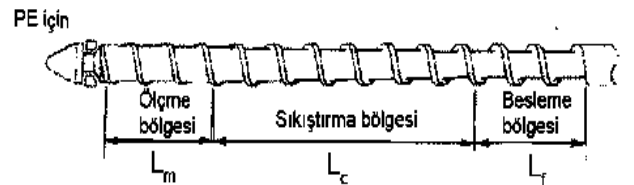
Bazı araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda, üretim hattında meydana gelebilecek problemlerin önceden kestirimi için farklı uygulamalarda faydalı olabilecek çerçeveler sunmuştur. Jemielniak, takım aşınmasının izlenmesinde ve parça kopmasında akustik emisyon (AE) sensörü kullanarak çalışmalar yapmış ve takımda meydana gelen krater aşınmalarını bu sayede incelemiştir (Jemielniak 2000). Inasaki ve diğer., tormalama işleminde, akustik emisyon sensörü kullanarak yapay sınır ağları yardımıyla talaş yapısı ve tirlamanın belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır (Inasaki 1998). Dolinsek ve Kopac, AE jet sensörü yardımıyla tormalama işleminde kullanılan farklı tip kesici uçlar ve takım kaplamalarında meydana gelen aşınmaları tespit etmiştir. AE sinyalleri incelendikten sonra spektral analizi yapılarak genlik frekansı grafiklerini oluşturmuşlardır (Dolinsek ve Kopac 1999). Lee ve diğer., piezo elektrik ve AE kuvvet sensörü ile tormalama işleminde takım kırılmasının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Yaptıkları çalışmada, AE sinyallerinin genliğinde meydana gelen ani artış ve akabinde kesme kuvvetinde meydana gelen ani değişimlerle takım kırılmasını incelemiştir (Lee ve diğer. 2006). Jamielniak ve diğer., yaptıkları çalışmada kesici takımlarda meydana gelen kopma aşınmasının tespitinde AE sensörü kullanmıştır. AE sinyallerinin enerjisini belirleyen RMS (root mean sensör), ani bir artış gösterdiği için tercih edilmiş ancak ani değişimlerde RMS değerleri çokta başarılı olamamıştır. Bunun Yerine CTF (telafisi olmayan takım kaybı) değerleri kullanarak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir (Jamielniak ve diğer. 1998). Kalyoncu yapmış olduğu çalışmada, makine ve elemanlarında meydana gelen arızaların belirlenmesinde, titreşim analiz metodu ve kestirimci yöntemden bahsetmiştir. Örnek uygulamada, rulmanlarda meydana gelebilecek arızalar irdelenmiştir. Bu amaçla, titreşim ölçümleri ve analizleri yapılarak tespit edilen sınırlar ve yeni trendler göz önünde bulundurularak yapılan karşılaştırmaların, makine ve elemanlarının geçmişinin nasıl izlendiği, hâlihazırdaki durumu ve gelecekteki çalışma durumu hakkında yapılacak tahminler üzerinde durulmuştur (Kalyoncu 2006). Engür ve diğer., titreşim analiziyle kestirimci bakım yöntemini irdelenmiş, döner makinelerde oluşan eksen bozukluğu, dengesiz dönme, rulman hasarları ve mekanik gevşemeler gibi meydana gelen problemlerin daha hızlı ve daha düşük maliyetle tespit edilebileceği ve ileride oluşabilecek daha büyük kayıpların azaltılabileceği bildirilmiştir (Engür 2007). Choudhury ve diğer., kendi deney düzenekleri ile rulman hasarlarının tespitinde AE yönteminin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla orijinal rulman ile bilye ve bilezik

yuvarlanma yolu üzerinde farklı hasar derecelerine sahip rulmanların, farklı yük koşulları altındaki AE ölçümlerini yapmıştır (Choudhury ve Sirinivas 2004). Van Brussel ve diğer., sonlu elemanlar yöntemiyle vidalı mil hareket sisteminde içeren üç eksene sahip freze tezgahını modellemiştir. Komponent modu ile sonlu elemanlar modelini kontrol ve simülasyon için uygun durum uzay modeli şekline indirgemıştır (Brussel ve diğer. 2001). Schafers ve diğer. tarafından yapılan çalışmada, freze takım tezgâhı bütünüyle sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek yüksek hızlı tezgâhların kontrolünde ve dizaynında kullanılabileceği gösterilmiştir (Schafers ve diğer. 2006). Chen ve diğer., vidalı mil hareket sistemini yaylarla bağlı rijit modeller olarak ifade etmiştir. Model vida milindeki aksel hareketi, burulma hareketini ve kızakların bağlantı noktalarında oluşan kaçıklığı ifade etmektedir. Bu modelle, kızaklarda oluşan yer değişiminin tablanın konum doğruluğuna büyük oranda etki ettiği gösterilmiştir (Chen ve Leonard 2018).

Vida mili ile somunun birleşme yüzeyi, hareket iletmede, titreşimlerde ve vidalı milden tablaya iletilen kuvvetler önemli rol oynamaktadır. Bu amaçla vida ile somun arasındaki bağıntı dinamiğinin ifadesi için birçok çalışma yapılmıştır (Cuttino ve Dow 1997) (Cuttino ve diğer. 1997) (Lin ve diğer. 1994) (Wei ve Lin 2003). Vida mili hareket sisteminin sonlu elemanlar yöntemiyle modellendiğinde vida ile somun ara yüzeyindeki bağıntının özel rijitlik matrisiyle modellenmesi gerektiği bildirilmiştir. Bu özel matrisi oluşturabilmek için araştırmacılar vida milinin aksel ve burulma yer değişimlerini ifade etmişlerdir. Ancak yapılan modellemelerde vida-somun arasındaki aksel, burulma ve dikey yöndeki yer değiştirmelerin birlikte olduğu çapraz bağlantı davranışlarının ifadesi yapılamamıştır. Bu hareketler sistem dinamiğini ortaya koyma bakımından önemlidir. AE sensörü ile yapılan bu çalışma, vida mili üzerine etki eden karşı kuvvetlerin tespit edilmesinde katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

Vida, uzunluk ve çaplarıyla bağlantılı olarak tanımlanır. Vidalar kullanılacak malzemeye göre farklılık gösterse de genellikle üç bölgeden oluşmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi bu bölgeler, beslenme, sıkıştırma ve ölçme bölgeleridir. Besleme bölgesi; tanecik halinde katı malzemeyi sıkıştırma bölgesine doğru iter. Sıkıştırma bölgesi; malzemenin sıkıştırılarak eritme işleminin büyük bölümünün gerçekleştirildiği kısımdır. Ölçme bölgesi; eritme işleminin tamamlanarak erimiş malzemeyi vida kısmının ön tarafına iletildiği kısımdır. Vida, biriken malzemenin karşı basıncı ile kalıbı doldurmak için yeterli miktarda malzeme birikinceye kadar geri itilir (Purde ve Özden 2005).

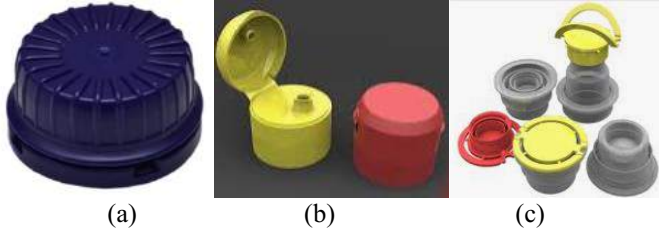


Şekil 1. Vida mili

Vida mili malzemesinde M6 N66 polyamid cam elyaf katkılı malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler aşındırıcı özelliğinden dolayı diğer malzemelere göre üstün mukavemet

sağlar (Altıntaş 2012). Bu çalışmadaki deneyler Demark S20201 marka plastik enjeksiyon tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında yüzey algılama probunun dinamoya yerleştirilmesi için uygun bir çalışma yapılmıştır. Vida milinin çalışması makinenin cycle time (devir zamanı) için oldukça önemlidir. Malzeme özelliklerine göre 11, 14 ve 21 sn olmak üzere 3 farklı devir seçimi yapılmıştır.

Malzeme seçiminde ise plastik sektöründe en çok kullanılan malzeme olan; PET (polietilen tereftalat) kapak, Polipropilen (PP) ve %30 kırık PET olmak üzere üç farklı tip malzeme tercih edilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemeler Şekil 2'de görülmektedir.



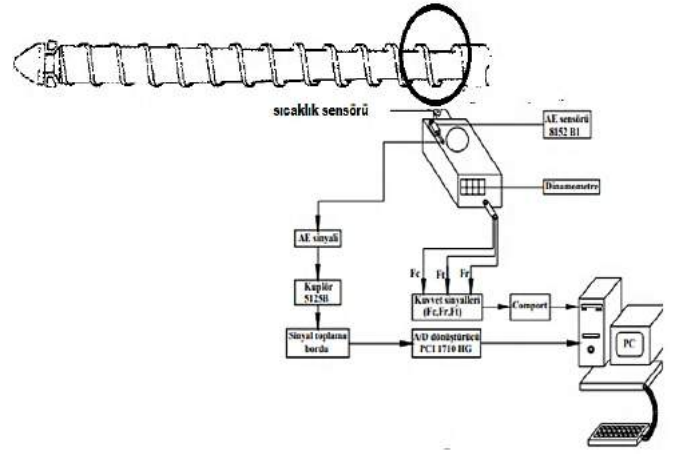
Şekil 2. Kullanılan malzemeler; a) PET kapak, b) PP, c) %30 kırık PET

Şekil 3'te, akustik emisyon ölçümünde kullanılan kistler marka sensör görülmektedir. Sensör 50-400 kHz aralığında ölçüm yapmaktadır. Paslanmaz çelikten üretilmiş ve vida miline kırılmanın olabileceği en yakın noktaya yerleştirilmiştir. AE sensöründen alınan sinyaller yüksek ve düşük geçiş filtrelerinden geçirilerek gürültünün olmadığı ortamda veri toplama kartına iletilir. Burada analog sinyaller dijital sinyale dönüştürülerek bilgisayara aktarılır.



Şekil 3. AE sensörü

Vidanın çalışması esnasında aşınma, kırılma, parçacık ayrılması ve kesme kuvveti ölçümleri amaçlanmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi bu parametrelere bağlı olarak AE sinyallerindeki değişimi kapsayan bir blok şeması ile çalışma planlanmıştır. Vida milinin kırılmalarına en fazla maruz kaldığı bölge olan hidromotor bölgesinde meydana gelen burç aşınması merkez kuvveti zayıflatmakta ve hareketin doğrusal olarak iletilmesini engellemektedir. Bu durum milin aşırı zorlanmalarına ve zamanla kırılmasına yol açmaktadır. Bu nedenle deney düzeni bu bölgeye yerleştirilmiştir. Dinamometre ve sıcaklık sensöründen alınan kuvvet ve sıcaklık sinyalleri doğrudan bilgisayara aktarılmıştır. AE sensöründen alınan sinyaller ise önce kuplöre ardından veri toplama kartına sonrada bilgisayara aktarılmaktadır.



Şekil 4. Vida mili ve AE sensörünün konumlandırılması

Kullanılan infrared sıcaklık ölçer ve dinamometre Şekil 5'te gösterilmektedir. Dinamometre (TELCO DKM 2010) saniyede ortalama 20 ölçüm yapabilmekte ve üç eksende kuvvet ölçümü yapabilmesinin yanı sıra vida milinde meydana gelen sıcaklığı da ölçebilmektedir. 45-60-75-90°'lik açılarla sistem üzerine konumlandırılabilir. Ölçülen değerler bilgisayara kaydedilmektedir.



Şekil 5. Infrared sıcaklık ölçer ve dinamometre

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Deneylerde kullanılan veri toplama kartı 2 analog çıkış ve 8 dijital girişe sahiptir. Kırılma işlemi anlık olduğu için kart yüksek veri işleme kapasitesine sahiptir. Yapılan çalışmanın her bir testinde farklı numune kullanılmıştır. Deneysel numunelerin üretim özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Deneysel parçaların üretim parametreleri

No	Deneysel parametreler	PX ₁	PX ₂	PX ₃
1	Kullanılan malzeme	PET	PP	%30 kırık PET
2	Cycle time (sn)	11	14	21
3	Kalıp göz kavitesi (adet)	8	8	8
4	Chiller su sıcaklığı (°C)	10	12	14
5	Boya kullanımı	Siyah	Sarı	Şeffaf

PX₁ numunesinin üretim esnasında vida milindeki AE değeri 14 mV olarak ölçülmüştür. Sıcaklık 305 °C, makine cycle time 11 sn ve ilerleme 0.172 mm/dev olarak ölçülmüştür. PX₂ numunesinin üretim esnasında vida milindeki AE değeri 18 mV

olarak ölçülmüştür. Sıcaklığı 320 °C, makine cycle time 14 sn ve ilerleme 0.172 mm/dev olarak ölçülmüştür. PX₃ numunesinin üretim esnasında vida milindeki AE değeri 25 mV olarak ölçülmüştür. Sıcaklık 310 °C, makine cycle time 21 sn ve ilerleme değeri 0.172 mm/dev olarak ölçülmüştür.

Bu çalışmada girdi parametrelerinin çıktı parametrelerini nasıl etkilediğini görmek amacıyla ilerleyen mil aşınması ve mil kırılmasını tahmin etmek için deneyler yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada min AE ve min sıcaklık değerlerinin incelenmesi sağlanmıştır. Sıcaklık arttıkça AE 'ye olan etki azalmaktadır. PX₂ polipropilen malzemesinin sıcaklık değeri en yüksek olan 320 °C'dir. Bu durum AE emisyon değerini düşürmüştür. PX₃ malzemesine katılan kırık plastik özelliklerinden dolayı sıcaklık değeri 310 °C olarak ölçülmüş ancak AE değeri 25 mV'dir. AE değerinin yüksek olmasının nedeni vida milinde meydana gelen zorlanmalar PET hammaddenin vida içerisinde zorlanarak ilerlediği ve kırık PET kullanımı esnasında meydana gelebilecek olan aşındırıcı yabancı malzemelerin olması ile açıklanabilir. Bu tarz yabancı madde vida içerisinde yeterince erimemekte ve ilerleme esnasında kalıbın çalışma şekline ve hidromotor bronz burç aşınmalarına neden olmaktadır. Bu durumdan dolayı vida mili ile hidromotor eksenini arasında kaçıklık oluşmakta ve vida milinin maruz kaldığı olumsuz durumdan dolayı kırılmalar meydana gelmektedir. PX₁ deney malzemesi üretim özellikleri bakımından herhangi bir problem oluşturmamıştır. Kullanılan hammaddenin orijinal PET malzeme olması ve uygun sıcaklık değerlerinde olması AE değerinde istenilen değerleri oluşturmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada, vida milinde meydana gelen aşınma ve kırılma hasarlarının öncesinde tespit edilebilmesi için bir dizi deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda vida mili kırılmasına sebep olacak parametrelerin başında PET hammaddenin özelliği önem taşımaktadır. Dolayısıyla vida mili içerisinde erimiş plastik sağlıklı bir ilerleme sağlar ve kalıp içerisinde herhangi bir hata oluşturmaz ise vida mili ve kovanında da herhangi bir problem meydana gelmemektedir. Bu durum yapılan deneysel çalışma ile ispatlanmıştır. PX₃ %30 kırık PET karışımı malzeme ise vida milindeki ilerlemesi esnasında problem oluşturmuş ve AE değerini yükseltmiştir. Fakat diğer katkısız PX₁ ve PX₂ 'de böyle bir durum görülmemiştir. Vida milinin çalışması esnasında en fazla zorlanmalara maruz kaldığı durum ise hidromotor çıkış burcudur. Kırılmalar çoğunlukla bu bölgede meydana gelmektedir. Bu durumu azaltmak için ise vida milinin bakım sürecinin zamanında yapılması, orijinal (katkısız) hammadde kullanılması ve vida iç sıcaklığının homojen bir dağılım sağlaması önerilmektedir.

Kaynakça

- Altıntaş, Y., (2012). Üretim otomasyonu: Metal kesme mekaniği, takım tezgâhı titreşimleri ve bilgisayarlı sayısal denetim tasarımı. Cambridge University Press.
- Brussel, V., Sas, P., Istvan, N., De Fonseca, P. & Van Den Braembussche, P. (2001). Towards a Mechatronic Compiler. Transactions on Mechatronics, Vol. 6, No. 1, p. 90-105.
- Chen, S. & Leonard, W. J. (2008). Tool failure determine acoustic emission signal. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 153-154, p. 128-135.

- Choudhury, S. K. & Sirinivas, P. (2004). Tool wear prediction in turning. Journal of Material Processing Technology, Vol. 153-154, p. 276-280.
- Cuttino, J.F. & Dow, T.A. (1997). Contact between Elastic Bodies with an Elliptic Contact Interface in Torsion. Journal of Applied Mechanics, Vol. 64, p. 144-148.
- Cuttino, J. F., Dow T. A., & Knight, B.F. (1997). Analytical and Experimental Identification of Nonlinearities in a Single-Nut Preloaded Ballscrew. Journal of Mechanical Design, Vol. 119, p. 15-19.
- Dolinsek, S. & Kopac, J. (1999). Acoustic emission signals for tool wear identification. Wear, Vol. 225-229, p. 295-303.
- Engür, A. İ. (2007). Kestirimci bakımda titreşim analizi. Mühendis ve Makine, Vol. 48, p. 27-31.
- Inasaki, I. (1998). Application of acoustic emission sensor for monitoring machining process. Ultrasonics, Vol. 36, p. 273-281.
- Jamielniak, K. & Otman, O. (1998). Tool failure detection based on analysis of acoustic emission signal. Journal of Material Processing Technology, Vol. 76, p. 192-197.
- Jamielniak, K. (2000). Some expect of AE application in tool condition monitoring. Ultrasonics, Vol. 38, p. 604-608.
- Kalyoncu, M. (2006). Titreşim analizi ile makine elemanları arızalarının belirlenmesi. Mühendis ve Makine, Vol. 47, p. 28-35.
- Kozjek, D., Vrabčič, R., Kralj, D., Butala, P. & Lavrač, N. (2019). Data mining for fault diagnostics: A case for plastic injection molding. Procedia CIRP., Vol. 6, p. 809-814.
- Lee, D., Hwang, I., Valente, C. M., Oliveira, J. & Dornfeld, D.A. (2006). Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, No. 2, p. 176-188.
- Lin, M.C., Ravani, B. & Velinsky, S.A. (1994). Kinematics of the Ball Screw Mechanism. Journal of Mechanical Design, Vol. 116, p. 849-855.
- Purde, Ö. & Özden, D. (2005). Plastik enjeksiyon kalıbı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Rosato, D. V. & Rosato, M. G. (2000). Injection Molding Machines. Injection Molding Handbook, p.28-150, Springer Boston, MA.
- Schafers, E., Denki J. & Hamann J. (2006), Mechatronic Modeling and Analysis of Machine Tools. Proceedings of the 2nd International Conference on High Performance Cutting, Canada.
- Wei, C.C. & Lin, J.F. (2003). Kinematic Analysis of the Ball Screw Mechanism Considering Variable Contact Angles and Elastic Deformations. Journal of Mechanical Design, Vol. 125, p. 717-733.



Tracing Research Using Field Programmable Gate Arrays for Aviation Applications

Ferhat Yüksel^{1*,2}, Ufuk Sakarya³

^{1*} Turkish Aerospace Industries, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4730-9190) ferhat.yuksel@tai.com.tr

² Yıldız Technical University, Graduate School of Science and Engineering, Department of Avionics Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4730-9190), ferhat.yuksel@tai.com.tr

³ Yıldız Technical University, Faculty of Applied Sciences, Department of Aviation Electronics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8365-3415), usakarya@yildiz.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.992431)

ATIF/REFERENCE: Yüksel, F. & Sakarya, U. (2021). Tracing Research Using Field Programmable Gate Arrays for Aviation Applications. *European Journal of Science and Technology*, (28), 130-134.

Abstract

Multicore operating system is becoming more significant topic in the developing aviation industry due to the high performance they provide. However, it also brings some difficulties that slow down these developments. Multicore processors are expected to be deterministic and have high reliability because they take on critical tasks in avionics systems. Authorities working in this direction recommend monitoring real-time CPU performances externally with a different system. Interpreting the information obtained at the time of operation and making inferences about the performance of the system is among the suggestions of this authorities. One of the reasons why multi-core processors are not reliable is the conflict experienced due to the common cache memories they use. Therefore, one of the information that needs to be obtained in the reliability is the occupancy rates of the memories used by the CPU. In addition, inferences can also be made about the performance of the CPU by monitoring the memory. In this paper, a tracing research using field programmable gate arrays (FPGAs) for aviation applications is presented. Successful results were obtained by carrying out studies considering the configuration of using two FPGAs in the simulation environment. One of the FPGAs represents the CPU and the cache memory used by the CPU and the other FPGA has the task of monitoring.

Keywords: Field Programmable Gate Arrays (FPGA), Tracing, Aviation Applications, Reliability, Occupancy rates of the memories.

Havacılık Uygulamaları için Sahada Programlanabilir Kapı Dizilerini Kullanarak İzleme Araştırması

Öz

Çok çekirdekli işletim sistemleri, sağladıkları yüksek performans nedeniyle gelişen havacılık endüstrisinde daha önemli bir konu haline gelmektedir. Ancak bu gelişmeleriyavaşlatan bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Çok çekirdekli işlemcilerin, aviyonik sistemlerde kritik görevler üstlendikleri için deterministik ve yüksek güvenilirliğe sahip olmaları beklenmektedir. Bu yönde çalışan yetkililer, gerçek zamanlı CPU performanslarının harici olarak farklı bir sistem ile izlenmesini önermektedir. Çalışma anında elde edilen bilgilerin yorumlanması ve sistemin performansı hakkında çıkarımlarda bulunulması bu yetkililerin önerileri arasındadır. Çok çekirdekli işlemcilerin güvenilir olmamasının nedenlerinden biri de kullandıkları ortak önbellek bellekleri nedeniyle yaşanan çakışmadır. Bu nedenle güvenilirlikte elde edilmesi gereken bilgilerden biri de CPU tarafından kullanılan belleklerin doluluk oranlarıdır. Ayrıca belleğin izlenmesiyle CPU'nun performansı hakkında çıkarımlar da yapılabilir. Bu bildiride, havacılık uygulamaları için sahada programlanabilir kapı dizileri (FPGA'lar) kullanan bir izleme araştırması sunulmaktadır. Simülasyon ortamında iki FPGA kullanımının konfigürasyonu dikkate alınarak çalışmalar yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan FPGA'lardan biri CPU'yu ve CPU tarafından kullanılan önbelleği temsil ederken, diğer FPGA izleme görevine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Sahada programlanabilir kapı dizileri(FPGA), İzleme, Havacılık Uygulaması, Güvenilirlik, Hafızaların Doluluk Oranları.

* Corresponding Author: ferhat.yuksel@tai.com.tr

1. Introduction

Today, Field Programmable Gate Arrays (FPGA) are preferred in many fields with the advantages they provide. Energy consumption, the space they occupy in the system, and the high performance brought by the parallel processing authority are among these advantages.

FPGAs are used in many areas of aviation: Radars, sensors, communication, network systems can be given as examples of these areas. Apart from power usage, performance and longevity of devices to be used in the aviation industry is also taken into consideration. The fact that a system being developed in this area can be reconfigured until the last stage can also be considered as one of the reasons for preference. FPGAs are also suitable for performing complex applications. Their flexibility and tolerance for faults can be added to their advantages.

In this sense, the use of FPGA is remarkable. Other advantages can be shown as the ability to transfer and receive data at high speeds, the increase in the usable logic blocks in them, and the higher integration capacity offered within the framework of lower costs (Anvar et al.,2006).

Real-time data processing is becoming increasingly common in the aviation and avionics fields. As a solution to the high power consumption of the system parts and higher performance requirements, hardware designers are turning to the use of FPGAs, which also have the advantage of being reconfigurable.

In the study of (Atitallah et al., 2018), the roles of simulation, testing and integration steps are defined by mentioning FPGA-based designs for applications that can be used in the field of aviation and that require high signal processing.

In the future, space systems are planned to be dynamically configurable and optimized, with less hardware used to increase human safety. There are reconfigurations in space systems, but these reconfigurations only at the software level and the limited power and volume of the hardware that can be used do not give the expected performance. Providing the hardware for the application's needs gives more successful results than configuring the software. In line with the needs, reconfiguring the hardware during operation and enabling the system to reach sufficient hardware resources are considered as the best solution. A study has been made for the reconfigurable system design (Zheng et al., 2005). It is one of the methods used to increase the modularity of the system and reduce its complexity. The use of reconfigurable devices adds a great deal of modularity to the system.

Functionally, modularization of the system makes the use of the desired number of devices upon request and accordingly the use of power consumption more effective. While dynamically reconfigurable FPGAs provide flexibility in the use of resources, they also directly affect the overall performance of the system and increase it (Lie & Feng-Yan, 2009).

In the aviation industry, the reliability of the devices is important. In addition, it is important to monitor the progress and performance of the devices during operation. One of the information that needs to be obtained in the reliability is the occupancy rates of the memories. In this paper, a tracing research using field programmable gate arrays for aviation applications is presented. The configuration of using two FPGAs is realized for the simulation environment. One FPGA is used to simulate CPU

and the other is used for tracing applications. High-speed monitoring is provided by FPGAs.

The rest of paper is designed as follows: The related works are given in Section 2. The proposed system is presented in Section 3. The simulation results and discussions are demonstrated in Section 4. In Section 5, there is a conclusion part.

2. Background

Aurora protocol is a protocol developed by Xilinx that provides high-speed communication between two points. We can list the reasons for using the protocol with the following items (Xilinx, 2010);

- High speed data transfer is possible (480 Mb/s to 84.48 Gb/s).
- Various FPGAs can be supported.
- 8B / 10B or 64B / 66B encoding
- Low resource cost.
- Flow control interfaces (AXI4-Stream based)
- Automatically starts and protects the channel.
- Full duplex or unidirectional operation.

Providing 16-bit or 32-bit Cyclic Residual Check (CRC). Connections can be made in one or more ways. LogiCORE IP, which can be used in the development environment, is provided for the use of this protocol developed by the company. With this IP provided, the control of high-speed data flow between two devices and the packet contents can be examined. FPGA cards that support the protocol have transfer blocks that provide high-speed data transfer. An Aurora protocol may contain one or more data transmission channels. Since each of these channels is bidirectional. This protocol, which allows data flow at high speeds, is a top layer protocol such as Ethernet and TCP/IP. It can be used by everyone without any restrictions (Xilinx, 2010). Fig. 1 shows the general data flow chart of the protocol.

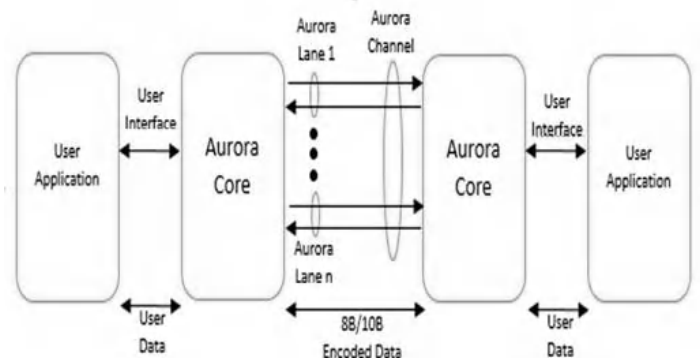


Fig. 1 Aurora protocol (Adapted from [5])

Certification Authorities software team has CAST-32A certificate on ensuring the security, performance and integrity of multi-core processors that will be used in aviation. The philosophy of monitoring the behaviour of a multi-core processor with an external device is within the proposal of the creators of the CAST-32A document (CAST-32A, 2016). The Cast32-A document provides recommendations to detect COTS MCP failures and ensure the continuous safe operation of the airborne system without affecting other components.

There are studies on debugging using the FPGA platform. In the study (Yan, 2012), the system basically consists of 3 basic blocks: the FPGA block, interface and debugging tool. The

monitored system consists of 3 parts: debug block, memory and digital signal processor (Digital Signal Processing - DSP). The debug block provides a way for the system to run while the system is running, and is the block that provides high-speed communication with the outside. The DSP block is the block where real-time error monitoring messages are generated. A memory block is a block used to share memory resources among other blocks. The interface block is the block that provides data exchange between the debugging tool and the FPGA to be monitored. The error monitoring tool is the block that can generate commands such as restarting and stopping the system, as well as performing tasks such as accessing memory, accessing DPS addresses and collecting incoming monitoring messages. In this study, a system that can be monitored from the outside and can make changes on the system has been designed (Yan, 2012).

In a different study (Freitag, 2020), a study was conducted on monitoring the performance counter records of processors using the Aurora protocol. Today, avionics systems are in the process of transition to multi-core processors. The reason for this transition is to realize the design of more performance systems by reducing size, weight and power usage. However, in addition to the advantages it brings, there are also difficulties in using multi-core processors. In the use of multi-core processors, which are planned to be used for real-time systems such as avionics applications, timing problems between cores are encountered. The general aim of the study is the system design that detects the slowdowns due to the use of the multi-core system. A model is created by performing a worst-case execution time analysis of an application running on cores. The slowdown of the observed application can be detected by comparing it with the model created during the execution of more than one application in the same system. Studies have been carried out to reduce the deceleration rate by reducing the impact of low critical applications on kernels if the deceleration exceeds the acceptable level. In the study, data communication was carried out between the processor and the FPGA using the Nexus protocol Aurora interface (Freitag, 2020).

3. Proposed System

The reliability of the devices to be used in the aviation industry is of great importance. While the use of reliable devices is preferred in order to prevent the system from failing, it is also critical to detect errors encountered during use of devices with high reliability. It is also necessary to monitor the progress and performance of the device used in critical systems during operation.

Multi-core processors can run multiple applications simultaneously as they have 2 or more cores. It can cause conflicts over the common memory used by these cores running in different applications.

In such applications, one of the information that needs to be obtained in order to interpret the reliability of the operation of the system is the occupancy rates of the memories. Tracing of the real-time, high-speed occupancy of the memories can be considered as an approach to monitor the memory used by systems using more than one memory.

In our study, a simple CPU that performs various instructions and two different memories that this CPU uses to receive its tasks and write its operations are designed.

By considering the written memory as cache, simulation outputs of transferring the occupancy rate to a different

platform with a speed of 5 Gbps were obtained.

The general structure of the system is given in Fig 2.

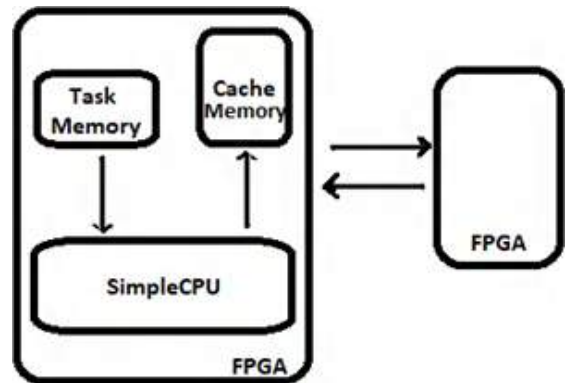


Fig. 2 System architecture

The functions of the components in the system are as follows;

Simple CPU: In line with the data it receives from the task memory component, it performs various instructions and sends it to the cache memory. It performs the information about which instructions to use and in which field it should be written in accordance with the data it receives from the task memory.

Task Memory: It is designed in such a way that 32-bit data can be entered by the user. What operations to do and which data to use is sent to the CPU with 32-bit data. The content of this instruction word is shown in Fig 3.

31	30	29	28	27	14	13	0
Opcode			Imme diate	Operand A (27:14)		Operand B (13:0)	

Fig. 3 Instruction word

The opcode provides information on which instruction to execute.

While the 14-bit operands A and B are generally used as pointers for the use of data on the cache memory, its value can also be included directly in the processing depending on the content of the immediate bit.

When the Immediate value is 1, the operand B value is processed directly, and if it is zero, the memory uses operand B as a pointer and uses the value at the address it shows in the cache memory.

In line with the incoming opcodes, we can list the CPU instructions in our architecture as follows;

- ADD
- NAND
- SRL (Shift)
- LT (Less or not)
- CP (Copy)
- BZJ (Branch)
- MUL (multiplication)
- DEL (Delete)

Cache Memory: This memory, which has a memory width

of 1GB, is where the data from the CPU is stored.

Interface: Aurora interface, which supports 5GBps speed, is used.

The general structure of the modules used in the project, which are expected to be monitored, and the data transmission interface IP are shown in Fig. 4.

Common clock and reset are used in our system. With the Stop input, it is aimed to stop the data flow through the Aurora interface in the system.

In the simulation environment, it has been observed that error-free data transfer is achieved by making loopback (Tx-Rx) connection in Aurora module.

4. Results and Discussion

According to the CAST-32A position paper, aerospace projects that will use multicore processors may consider using a different "safety net" outside the system for fault detection [8]. CAST-32A gives a set of objectives in order to overcome to multicore certification challenges. And also, it analyses the performance and security effects of multi-core processors used in aviation on the system. Adhering to the objectives of this CAST paper, the general purpose of systems is to monitor CPU behaviour by monitoring the performance and progress of applications in cores without making any changes to applications.

Similarly, the general purpose of our project is to be able to design a system that can approximate CPU behaviour by monitoring the occupancy rates of the cache memories used by the CPU at high speeds.

As an example of instructions realized, the execution of the delete instruction in the simulation environment is shown in Fig. 5. '0110' operation code belongs to delete function. Operand1 shows the value of the address to be deleted. In Fig5, it has been shown that the value 28 of the memory at address 106 is reset with the incoming delete command. Along with the deletion of the desired address of the memory, the number of the currently used memory amount is also included in the last line of the Fig. 5.

5. Conclusion

Due to the increasing requirements in systems used in aviation, high performance processors are needed. For this reason, single-core processors have begun to leave their place to multi-core processors.

Along with the performance gain of multi-core processors, they are unsafe due to the use of common resources for

aviation applications. Some authorities working on this subject suggest real-time monitoring of system performance external and remotely with a different system.

It is presented that necessary measures can be taken by inferring the performance of the system with the trace results obtained.

In this study conducted in line with these approaches, the general objectives and outputs of the design can be listed with the following items;

- By creating the simple version of the processors used in aviation, it was implemented to the project. In this way, high-cost processors were simulated in the work.
- In order to make inferences about the performance of the CPU, the cache memories used by the processors have been added.
- Simulation of monitoring the occupancy information of the cache memory used by the CPU by sending it to a different FPGA card at high speed (5Gbps) has been realized.

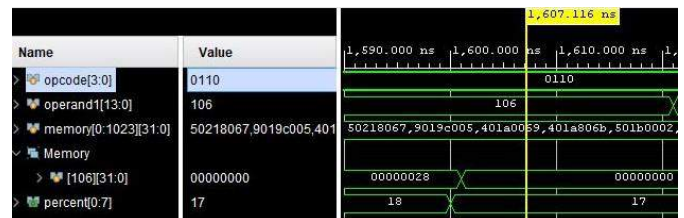


Fig. 5 Simulation of delete instruction

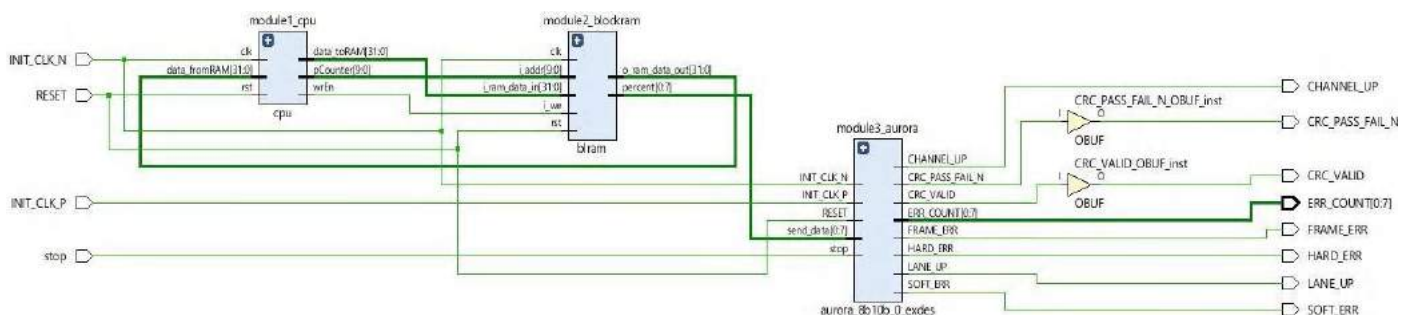


Fig. 4 General structures of the proposed system

References

- Anvar, S., Gachelin, O., Kestener, P., Provost, H. L., & Mandjavidze, I. (2006). FPGA-based system-on-chip designs for real-time applications in particle physics. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 53(3), 682-687. doi:10.1109/tns.2006.875076.
- Atitallah, R. B., Viswanathan, V., Belanger, N., & Dekeyser, J. (2018). FPGA-Centric Design Process for Avionic Simulation and Test. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 54(3), 1047-1065. doi:10.1109/taes.2017.2733858.
- Certification Authorities Software Team, "Multi-core Processors - Position Paper CAST-32A," 2016.
- Freitag, J. (2020). Virtual Timing Isolation Safety-Net for Multicore Processors. Dissertation, Universitat Augsburg University.
- Lie, W., & Feng-Yan, W. (2009). Dynamic Partial Reconfiguration in FPGAs. *2009 Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application*. doi:10.1109/iita.2009.334.
- Xilinx, "Aurora 8b/10b protocol specification 2010." http://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/aurora_8b10b_protocol_spec_sp002.pdf.
- Yan, D. (2012). FPGA Platform for Debug. Master Thesis, Department of Electronic Systems, School of Information and Communication Technology, Kungliga Tekniska Högskolan.
- Zheng, W., Marzwell, N., & Chau, S. (n.d.). In-System Partial Run-Time Reconfiguration for Fault Recovery Applications on Spacecrafts. *2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. doi:10.1109/icsmc.2005.1571763.



The Möbius Curvature of Bezier Curves

Filiz Ertem Kaya^{1*}

^{1*} Nigde Omer Halisdemir University, Faculty of Science-Art, Department of Mathematics, Nigde, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1538-9154), fertem@ohu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.992818)

ATIF/REFERENCE: Ertem Kaya, F. (2021). The Möbius Curvature of Bezier Curves. *European Journal of Science and Technology*, (28), 135-139.

Abstract

The aim of this study is to observe the Möbius curvature is computed by me as using curvature of Bezier curve is therefore proportional to the differentials of the curvature also correspond to a such as survey properties of Bezier curves. The Möbius curvature of Bezier curve has different value according to the control points. Also when the different cases may occur, it has different values according to the angle is constant or not.

Keywords: Bezier curves, Curvature, Möbius Curvature.

Bezier Eğrilerinin Möbius Eğriliği

Öz

Bu çalışmanın amacı Bezier eğrilerinin eğriliğini kullanarak hesapladığım Möbius eğrilerini Bezier eğrilerinin özellikleri araştırılmasından dolayı orantılı olarak buna karşılık gelen eğriliğin diferensiyellerinin incelenmesidir. Bezier eğrisinin Möbius eğriliği kontrol noktalarında farklı değer alır. Yine açının sabit yada değişken olmasına göre de farklı durumlar söz konusu olduğunda değeri değişebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bezier eğrileri, Eğrilik, Möbius eğriliği.

* Corresponding Author: fertem@ohu.edu.tr

1. Introduction

The mathematical Bezier curves as known Bernstein Polynomial has studied since 1960 by french engineer Pierre Bezier, especially automobile design.

In [3], Marsland and Maclachen investigate of planar shapes and images under the möbius group $PSL(2, \mathbb{C})$ is therefore proportional to the integral of the curvature.

The aim of this study is to observe the Möbius curvature is computed by using curvature of Bezier curve and Bezier curves is therefore curves proportional to the integral of the curvature also correspond to a such as properties of Bezier curves.

2. Preliminaries

2.1. Bezier Curves

Bezier curve is defined as a parametric curve $Q(t)$ that use the Bernstein polynomials as a basis. The equation of the general Bezier curve is given by:

$$Q(t) = \sum_{i=0}^m P_i^m(t) Q_i$$

where $P_i^m(t)$ is a basis function for Bezier curve Q_i refers to the control points of the curve and they constitute B-spline curve. The function of the $P_i^m(t)$ can be defined as the following:

$$P_i^m(t) = \frac{m!}{(m-i)!i!} (1-t)^{m-i} t^i, \quad i = 0,1,2,\dots,n$$

The curve can be expressed as any degree m with $m + 1$ control points [1,2,3,4,5,6,7,8,9,11].

2.2. Frenet Frame of Bezier Curves

Frenet frame of Bezier curves $\{T, N, B, \kappa, \tau\}$ are found firstly by Samanci [9] as follows:

Theorem 2.1.1.

The curvature of a Bezier curve whose control points are $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ from n . degree at $t = 0$ point

$$\kappa = \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \sin \alpha$$

[11].

Proof. It is obviously seen in [9].

Theorem 2.1.2.

The curvature of a bezier curve whose control points $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ from n . degree at $t = 1$ point

$$\kappa = \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_{n-2}\|}{\|\Delta b_{n-1}\|} \sin \alpha$$

Proof. It is obviously seen in [9].

3. Möbius Curvature of Bezier Curves

3.1. Möbius Curvature

Let take a parametrization-invariant Möbius invariant known as the inversive or Möbius curvature [5,9];

$$\kappa_{Möb} = \frac{4\kappa'(\kappa'' - \kappa^2 \kappa') - 5(\kappa''')^2}{8(\kappa')^3}$$

where $'$ denotes differentiation with respect to arclenght [5,9].

Theorem 3.1.

If take a parametrization-invariant Möbius invariant known as the inversive Bezier curve or Möbius curvature of Bezier curve at $t = 0$ point.

Proof. We know from [9] that the curvature of Bezier Curve is as follows:

$$\kappa = \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \sin \alpha$$

and

$$\kappa' = \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \sin \alpha - \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \cos \alpha$$

and

$$\begin{aligned} \kappa'' = & \left(\frac{n-1}{n} \right) \frac{2 \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2 - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0\|^2}{\|\Delta b_0\|^4} \sin \alpha \\ & + \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \cos \alpha \\ & - \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \cos \alpha \\ & - \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \sin \alpha \end{aligned}$$

so

$$\begin{aligned} \kappa'' = & \frac{n-1}{n} \frac{\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0\|^2}{\|\Delta b_0\|^2} \sin \alpha \\ & - 2 \frac{n-1}{n} \frac{\left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^3} \sin \alpha \\ & - \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \sin \alpha \end{aligned}$$

Also we must have find the κ''' , so we obtain

$$\begin{aligned} \kappa''' = & \frac{n-1}{n} \frac{\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2}{\|\Delta b_0\|^4} \sin \alpha \\ & + \frac{n-1}{n} \frac{\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\|}{\|\Delta b_0\|^2} \cos \alpha \\ & - 2 \frac{n-1}{n} \frac{\left[\|\Delta b_0''\| \|\Delta b_0'\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0''\| - \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^6} \\ & \cdot \sin \alpha \\ & - 2 \frac{n-1}{n} \frac{\left[\|\Delta b_0''\| \|\Delta b_0'\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^3} \cos \alpha \\ & - \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\|}{\|\Delta b_0\|^2} \sin \alpha - \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \cos \alpha \end{aligned}$$

After these calculations, if we substitute above differentiations of

$$\kappa \text{ to the formulae of } \kappa_{M\ddot{o}b} = \frac{4\kappa'(\kappa''' - \kappa^2 \kappa') - 5(\kappa'')^2}{8(\kappa')^3}, \text{ then}$$

we have the $\kappa_{M\ddot{o}b}$ of Bezier curves.

Special Case 1: If the angle θ is constant, then we have the values of the differentials of κ that are κ' , κ'' and κ''' as follows

$$\kappa = \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \sin \alpha,$$

$$\kappa' = \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \sin \alpha,$$

$$\kappa'' = \left(\frac{n-1}{n} \right) \frac{\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2}{\|\Delta b_0\|^4} \sin \alpha - 2 \frac{\left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\|}{\|\Delta b_0\|^4} \sin \alpha$$

and we obtain,

$$\kappa''' = \left(\frac{n-1}{n} \right) \frac{\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0\|^2}{\|\Delta b_0\|^4} \sin \alpha - 2 \frac{\left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\|}{\|\Delta b_0\|^4} \sin \alpha$$

$$\begin{aligned} \kappa''' = & \left(\frac{n-1}{n} \right) \frac{\left[\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2 \right.}{\|\Delta b_0\|^8} \\ & \left. - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0''\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \right] \|\Delta b_0\|^4}{\|\Delta b_0\|^8} \sin \alpha \\ & - 4 \|\Delta b_0\|^3 \|\Delta b_0'\| \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \\ & - 2 \left[\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \right. \\ & \left. - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0''\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 2 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0''\| \|\Delta b_0\| \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 2 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\|^2 \|\Delta b_0\|^4 \\ & \left. - 8 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \right] \sin \alpha \end{aligned}$$

If the angle θ is constant, then we obtain $\kappa_{M\ddot{o}b}$ as follows:

$$\begin{aligned} \kappa_{M\ddot{o}b} = & \left(\frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \sin \alpha \right) \\ & \left[\left[\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2 \right. \right. \\ & \left. \left. + 2 \left[\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \right] \|\Delta b_0\|^4 \right. \\ & - 4 \|\Delta b_0\|^3 \|\Delta b_0'\| \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \\ & - 2 \left[\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \right. \\ & \left. - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0''\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \right] \\ & \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 2 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0''\| \\ & \|\Delta b_0\| \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 2 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\|^2 \|\Delta b_0\|^4 \\ & \left. - 8 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \right] \sin \alpha \\ & - \left(\frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \sin \alpha \right)^2 \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \sin \alpha \\ & - 5 \left(\frac{n-1}{n} \right) \frac{\left[\left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2 \right.}{\|\Delta b_0\|^4} \\ & \left. - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0''\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \right] \sin \alpha}{\|\Delta b_0\|^4} \end{aligned}$$

Special Case 2: If the angle $\theta = 90^\circ$, then $\kappa_{Möb}$ of Bezier curves is obtained as follows:

$$\kappa_{Möb} = \frac{4 \left(\frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \right) \left[\begin{aligned} & \left[\begin{aligned} & \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2 \\ & - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0\|^2 \\ & + 2 \left[\begin{aligned} & \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \\ & - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \end{aligned} \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\| \end{aligned} \right] \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 4 \|\Delta b_0\|^3 \|\Delta b_0'\| \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0'\| \\ & - 2 \left[\begin{aligned} & \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \\ & - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \end{aligned} \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 2 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0''\| \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 2 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0'\|^2 \|\Delta b_0\|^4 \\ & - 8 \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\|^4 \end{aligned} \right] \frac{(n-1)}{\|\Delta b_0\|^8} \\ - \left(\frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1\|}{\|\Delta b_0\|} \sin \alpha \right)^2 \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \right] \\ - 5 \left(\frac{n-1}{n} \frac{\left[\begin{aligned} & \left[\|\Delta b_1''\| \|\Delta b_0\| + \|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| \right] \|\Delta b_0\|^2 \\ & - \left[\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0'\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0''\| \right] \|\Delta b_0\|^2 \end{aligned} \right] \|\Delta b_0'\| \|\Delta b_0\|}{\|\Delta b_0\|^4} \right)^2 \right) \\ \left(\frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_1'\| \|\Delta b_0\| - \|\Delta b_1\| \|\Delta b_0'\|}{\|\Delta b_0\|^2} \right)^3 \end{aligned}$$

Special Case 3: If the angle $\theta = 0^\circ$, then $\kappa_{Möb} = 0$ of Bezier curves. This means that Bezier curve is lie on the plane. If $\kappa_{Möb} = 0$, then Möbius energy is not computed on the surface.

4. Conclusions

In this work Möbius curvature of Bezier curves is computed. These calculations is a step for finding Möbius energy of Bezier curves. Möbius energy is a kind of artificial energy that Möbius energy is found by using curvatures of the Bezier curves in differential geometry.

Also the same operations are calculated for the curvature of a Bezier curve whose control points are $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ from n . degree at $t = 1$ point for below formulae

$$\kappa = \frac{n-1}{n} \frac{\|\Delta b_{n-2}\|}{\|\Delta b_{n-1}\|} \sin \alpha$$

5. Acknowledge

2020 Mathematics Subject Classification is: 53A04, 53A05

References

Erkan, E., Yüce, S. (2018). Serret Frenet Frame and Curvatures of Bezier Curves. *E Mathematics*, 6(321), 2-20.
 Hasan, Z. A., Yahya, Z. R., Rusdi, N. A. and Roslan, N. (2018). Curve Construction in Different Cubic Funtions using Differential Evolution. *Mucet 2017, MATEC Web of Conferences* 150, 06030.
 Marsland, S., Mclachlan, R. I. (2016). Möbius Invariants of Shapes and Images. *Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications*, 12, 080, 29 pages.
 Roslan, N., Yahya, Z. R. (2015). Different Mutation Strategies for Reconstruction of Japanese Character. *Acceptance for Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology, (MUCET 2015) Johor Bharu, 11-13 October 2015.*
 Rusdi, N. A., Yahya, Z. R. (2015). Reconstruction of Arabic Font with Quartic Bezier Curve. *Sains Malaysiana* 44, 1209-1216.

- Rusdi, N. A., Yahya, Z. R. (2014). Reconstruction of Generic Shape with Cubic Bezier least Square Method. International Conference on Mathematics Engineering and Industrial Applications, ICOMIEA 2014, AIP Publishing 1660, 0500004.
- Rusdi, N. A., Yahya, Z. R. (2014). Reconstruction of Arabic Font using Artificial Bee Colony Algorithm, Acceptance for Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology, (MUCET 2015).
- Patterson, B. C. (1928). The different invariants of inversive Geometry. Amer. J. Math. 50, 553-568.
- Samanci, H. K., Çelik, S. and İncesu, M. (2015). The Bishop Frame of Bezier Curves. Life Science Journal, 12 (6).
- Yan, L. L., Liang J. F. (2011). An Extension of the Bezier Model. Applied mathematics and Computation, Vol: 18, No:6, 2863-2879.
- Forrest, A. R. (1968). Curves and Surfaces for Computer Aided Design. Ph. D. Thesis, University of Cambridge.



Analysis of Wien Bridge Oscillator Designed Using BJT and Memristor with Different Window Functions

İshak Parlar^{1*}, Mehmet Nuri Almalı¹, Ali Can Çabuker¹

^{1*} Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3383-8091), ishakparlar@yyu.edu.tr

² Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2763-4452), mnal@yyu.edu.tr

³ Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Van, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2011-2117), alicancabuker@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993302)

ATIF/REFERENCE: Parlar, İ., Almalı, M.N., Çabuker, A.C. (2021). Analysis of Wien Bridge Oscillator Designed Using BJT and Memristor with Different Window Functions. *European Journal of Science and Technology*, (28), 140-143.

Abstract

In this document, first of all, code sections of memristor window functions (Strukov, Joglekar, Biolek and Prodromakis) were created in Pspice package program in detail. Then, the design of the wien bridge oscillator circuit with BJT with a memristor with different window functions was created. Finally, the system's oscillation start time, oscillation band settling time and center oscillation frequency analysis data were imported into the Matlab program and a comprehensive presentation was made. It was seen that the output responses of the wien bridge oscillator circuit realized with the Strukov window function were better than the other window functions. It has also been shown that designs that can be realized with memristor with different window functions in various analog oscillator circuits that can be made in the future can be obtained with this method.

Keywords: Window functions, Wien bridge oscillator, Memristor, Center oscillation frequency, Pspice.

Farklı Pencere Fonksiyonları ile BJT ve Memristor Kullanılarak Tasarlanan Wien Bridge Osilatörünün Analizi

Öz

Bu dokümanda öncelikle memristor pencere fonksiyonlarının (Strukov, Joglekar, Biolek ve Prodromakis) kod bölümleri Pspice paket programında detaylı olarak oluşturulmuştur. Daha sonra farklı pencere fonksiyonlarına sahip memristör kullanarak BJT'li wien köprü osilatör devresinin tasarımı oluşturulmuştur. Son olarak sistemin osilasyona başlama zamanı, osilasyona oturma zamanı ve merkez osilasyon frekansı analiz verileri Matlab programına aktarılarak kapsamlı bir sunum yapılmıştır. Strukov pencere fonksiyonu ile gerçekleştirilen wien köprü osilatör devresinin çıkış tepkilerinin diğer pencere fonksiyonlarına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca gelecekte yapılabilecek çeşitli analog osilatör devrelerinde farklı pencere fonksiyonlarına sahip memristör ile gerçekleştirilebilecek tasarımların bu yöntemle elde edilebileceği de gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pencere fonksiyonları, Wien köprü osilatörü, Memristor, Osilasyon merkez frekansı, Pspice.

* Corresponding Author: ishakparlar@yyu.edu.tr

1. Introduction

This study gives important clues about how to use and implement memristor with different window functions in analog circuits. To date, many different window functions have been proposed and continue to be proposed (Strukov et al., 2008; Joglekar and Wolf, 2009; Biolek et al., 2009; Prodromakis et al., 2011; Kvatinsky et al., 2012; Yu et al., 2013). Among them, Strukov, Biolek, Joglekar and Prodromakis, which can be considered the most important, are the most preferred. Each of them creates structures suitable for use in different analog circuits. Especially in analog circuits that require precision, the usage areas are increasing day by day.

Wien bridge oscillator circuit, which is one of the RC oscillators, is one of the most preferred signal generators. Other signals can be derived from this circuit. Generating signals with the desired amplitude and frequency also necessitates sensitivity. At this point, memristor window functions come into play. As with many other methods, this method can be considered relatively easy to use, perform and apply. In this study, the wien bridge oscillator circuit with BJT was created by moving away from the traditional structure. Series and parallel R-C elements were created with M-C. The rest of the structure was preserved as it was. At the output of the circuit, the oscillation start time, the oscillation band settling time and the center frequency were calculated in detail, and the reliability of the system was verified with the results. It was seen that the Strukov window function was faster and more robust than the other window functions. In the following sections, system design, code part and results will be discussed.

2. Material and Method

Different window functions were created one by one with the Pspice code shown in Figure 1. The initial states are exactly the same, but the only difference is the algebraic expressions of the functions we use.

2.1. Window Functions

Window function is state variable function. The window function pushes the element's boundaries and helps it exhibit non-linear behaviour near these boundaries. Many window functions have been proposed so far. These window functions were simulated in the SPICE model, and the differences in current and voltage were observed. The window functions applied are mainly: Strukov, Biolek, Joglekar and Prodromakis.

If we consider each window function one by one mathematically; Strukov window function (Strukov et al., 2008) ;

$$f(x) = x - x^2 \quad (1)$$

This window function lacked flexibility. Later, another window function was proposed by Joglekar. The system could be controlled with a positive integer p (Joglekar and Wolf, 2009; Rak and Cserey, 2010; Chua, 2010).

$$f(x) = 1 - (2x - 1)^{2p} \quad (2)$$

An important problem of this model is based on the fact that if w (the physical length of the memristor) is at any limit ($w = 0$ or $w = D$), the device cannot be reset to its original position

after reaching the endpoints. At this point, we encounter the Biolek memristor back from the terminal state problem until you suggest another window function that lets it come through (Biolek et al., 2009).

$$f(x) = 1 - (x - \text{stp}(-i))^{2p} \quad (3)$$

The newest window function was finally suggested by Prodromakis [4].

$$f(x) = 1 - [(x - 0.5)^2 + 0.75]^p \quad (4)$$

Boundary issues are resolved with the window function that returns zero on active double-layer edges.

```
.SUBCKT memristor Plus Minus PARAMS:
+ Ron=100 Roff=16K Rinit=11K D=10N uv=10F
p=10
*****
* DIFFERENTIAL EQUATION MODELING *
*****
Gx 0 x value={
I (Emem) *uv*Ron/D^2*f (V(x),p) }
Cx x 0 1 IC={(Roff-Rinit)/(Roff-Ron) }
Raux x 0 1T
* RESISTIVE PORT OF THE MEMRISTOR *
*****
Emem plus aux value={-I (Emem) *V(x) * (Roff-
Ron) }
Roff aux minus {Roff}
*****
*Flux computation*
*****
Eflux flux 0 value={SDT (V(plus,minus)) }
*****
*Charge computation*
*****
Echarge charge 0 value={SDT (I (Emem)) }
*****
* WINDOW FUNCTIONS
* FOR NONLINEAR DRIFT MODELING *
*****
*window function, according to Prodromakis
.func f(x,p)={1-(((x-0.5)^2)+0.75)^p}
*window function, according to Joglekar
.func f(x,p)={1-(2*x-1)^(2*p)}
*window function, according to Strukov
.func f(x,p)={x-x*2}
*window function, according to Biolek
.func f(x,i)={1-(x-stp(-i))^(2*p)}
.ENDS memristor
```

Figure 1. Memristor Pspice Window Function Code (Strukov et al., 2008)

Memristor parameter values; uv , D , R_{ON} , R_{OFF} and $R_{INITIAL}$ are defined as $10^{-10} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$, 10 nm , 100Ω , $16 \text{ K}\Omega$ and $11 \text{ K}\Omega$, respectively. Window function is defined as $p = 10$ for all models (Strukov et al., 2008; Joglekar and Wolf, 2009; Biolek et al., 2009).

2.2. Proposed Wien Bridge Oscillator

Since the traditional wien bridge oscillator structure, which is one of the RC oscillators, is preferred in the literature, the serial and parallel RC structures, which are the main structure, were preserved by using the double BJT structure instead of this structure (Martínez-García, 2013; Namajunas and Tamasevicius, 1995). Wien bridge oscillator structure with Memristor is shown in Figure 2. In this structure, resistors in both series and parallel parts have been replaced by memristor, which displays different window functions.

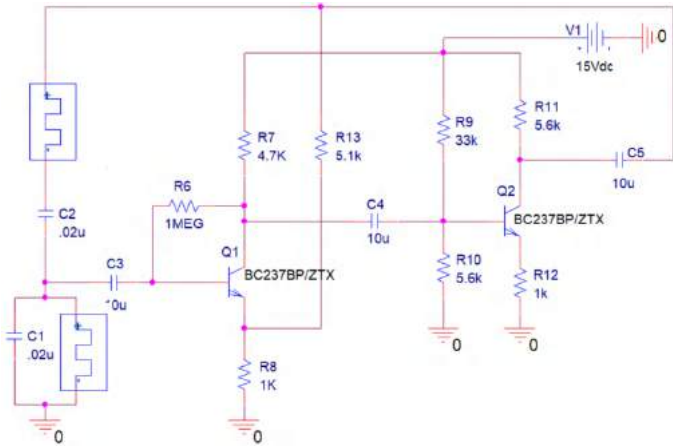


Figure 2. Wien Bridge Oscillator Circuit Designed with Memristor

In this structure, the gain of the system can be controlled by compensating the second BJT part from the first part with a capacitor. Outputs from the collector of each BJT create a phase difference of 180 degrees and move the output voltage to a positive point. The general center frequency of this system can be calculated with $1 / (2\pi(R_{INITIAL} \approx M)C)$. Here, the center oscillation frequency of the system can be changed by adjusting the $R_{INITIAL} \approx M$ value. In this study, the center oscillation frequency was calculated as approximately 723Hz.

3. Results and Discussion

3.1. Output Parameter Analysis

In Figure 3, the settling and oscillating start times of the wien bridge oscillator designed with a memristor with different window functions are shown. When both settling time and oscillation start times are considered, it is clearly seen that the Strukov window function comes to the prominent.

When looking at the frequency spectrum of the proposed wien bridge oscillator circuit in Figure 4, it is calculated that the center oscillation frequency is very close to the theory.

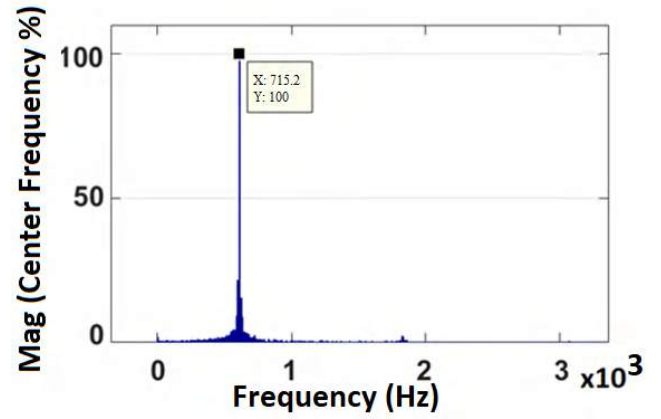


Figure 4. Center Oscillation Frequency of The Strukov Window Function

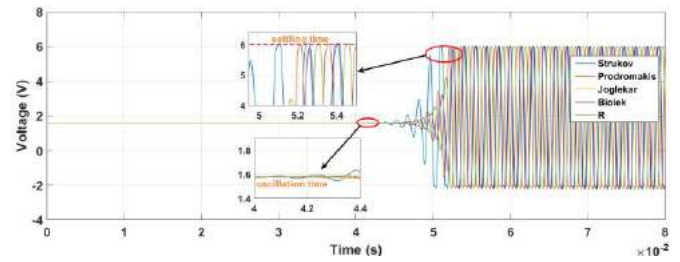


Figure 3. Effects of Different Window Functions on Settling Time for Wien Bridge Oscillator Circuit with Memristo

In the table given below, the settling and oscillation start times of each window functions are given in detail. As can be seen from the table, the superiority of the Strukov model has been observed.

Table 1. Oscillation Start and Settling Times of Different Window Functions on The Proposed Wien Bridge

Window Functions/ R	Oscillation Start Time (ms)	Oscillation Settling Time (ms)
Strukov	40.8	50.8
Prodromakis	42.1	52.0
Joglekar	43.2	52.6
Biolek	43.2	52.6
R (Resistor)	43.0	53.1

When we look at the literature, it is seen that memristor window functions are generally studied on analog filters. There are also studies on different analog oscillators, but this study can be unique in terms of creating a non-traditional wien bridge oscillator in this way. In addition, comparing with more than one window function increases the efficiency of the study.

4. Conclusions and Recommendations

As a result, it has been observed that the wien bridge oscillator circuit with memristor, realized with the Strukov window function, gives a fast and stable output response compared to other window functions. The fact that the center oscillation frequency is very close to the theory has been put forward as another factor that increases the reliability of the system. With this study, which will inspire future analog studies, window functions will be made compatible with electronic cards as

software, and will occupy a wider place in digital systems where speed is especially important (Staszewski et al., 2005; Ukhina et al., 2019).

References

- Strukov, D. B., Snider, G. S., Stewart, D. R., & Williams, R. S. (2008). The missing memristor found. *nature*, 453(7191), 80-83.
- Joglekar, Y. N., & Wolf, S. J. (2009). The elusive memristor: properties of basic electrical circuits. *European Journal of physics*, 30(4), 661.
- Biolek, Z., Biolek, D., & Biolkova, V. (2009). SPICE Model of Memristor with Nonlinear Dopant Drift. *Radioengineering*, 18(2).
- Prodromakis, T., Peh, B. P., Papavassiliou, C., & Toumazou, C. (2011). A versatile memristor model with nonlinear dopant kinetics. *IEEE transactions on electron devices*, 58(9), 3099-3105.
- Kvatinsky, S., Friedman, E. G., Kolodny, A., & Weiser, U. C. (2012). TEAM: Threshold adaptive memristor model. *IEEE transactions on circuits and systems I: regular papers*, 60(1), 211-221.
- Yu, J., Mu, X., Xi, X., & Wang, S. (2013). A memristor model with piecewise window function. *Radioengineering*, 22(4), 969-974.
- Rak, A., & Cserey, G. (2010). Macromodeling of the memristor in SPICE. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 29(4), 632-636.
- Chua, L. (1971). Memristor-the missing circuit element. *IEEE Transactions on circuit theory*, 18(5), 507-519.
- Martínez-García, H. (2013). On modified Wien-bridge oscillator and astable oscillator. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 75(1), 179-194.
- Namajunas, A., & Tamasevicius, A. (1995). Modified Wien-bridge oscillator for chaos. *Electronics letters*, 31(5), 335-336.
- Staszewski, R. B., Hung, C. M., Barton, N., Lee, M. C., & Leipold, D. (2005). A digitally controlled oscillator in a 90 nm digital CMOS process for mobile phones. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 40(11), 2203-2211.
- Ukhina, H., Sytnikov, V., Streltsov, O., Stupen, P., & Yakovlev, D. (2019, September). Specialized computer systems digital bandpass frequency-dependent components rearrangement. In *2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)* (Vol. 1, pp. 168-171). IEEE.



Comparative Study of Impedance Spectroscopy between Nickel-Metal Hydride and Lithium-ion Batteries

Salim Erol^{1*}

^{1*} Eskisehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Chemical Engineering, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7219-6642), esalim@ogu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993325)

ATIF/REFERENCE: Erol, S. (2021). Comparative Study of Impedance Spectroscopy between Nickel-Metal Hydride and Lithium-ion Batteries. *European Journal of Science and Technology*, (28), 144-151.

Abstract

Two commonly used commercially available rechargeable batteries, nickel-metal hydride battery and lithium-ion battery, have been investigated by impedance spectroscopy technique, which is a fast and an effective electrochemical method. These batteries were brought to the same potential and their electrochemical impedance properties in the equal frequency range were compared. The electrochemical characterization of the batteries was done by impedance analysis and equivalent circuit modeling. In addition, the physical parameters that are important for energy storage systems have been obtained with the developed equivalent circuit based mathematical model. The obtained parameters were compared in terms of battery performance and capacity characteristics that significantly determine the selection of batteries in energy storage systems. As a result of these processes, it has been determined that the lithium-ion battery has many advantages over the nickel-metal hydride battery in terms of battery dynamics. Furthermore, it is thought that the method used and the model obtained in this study can form the basis for the development of laboratory-scale and non-commercial batteries and to determine their ability to meet energy needs.

Keywords: Electrochemical impedance spectroscopy, rechargeable battery, equivalent circuit model, battery performance, porous electrode.

Nikel-Metal Hidrit ve Lityum-iyon Piller Arasındaki Empedans Spektroskopisinin Karşılaştırmalı Çalışması

Öz

Yaygın olarak kullanılan iki ticari şarj edilebilir pil, nikel-metal hidrit pil ve lityum-iyon pil, hızlı ve etkili bir elektrokimyasal yöntem olan empedans spektroskopisi tekniği ile incelenmiştir. Bu piller aynı potansiyele getirilerek eşit frekans aralığındaki elektrokimyasal empedans özellikleri karşılaştırılmıştır. Pillerin elektrokimyasal karakterizasyonu empedans analizi ve eşdeğer devre modelleme ile yapılmıştır. Ayrıca geliştirilen eşdeğer devre tabanlı matematiksel model ile enerji depolama sistemleri için önemli olan fiziksel parametreler elde edilmiştir. Elde edilen parametreler, enerji depolama sistemlerinde pil seçimini önemli ölçüde belirleyen pil performansı ve kapasite özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu işlemler sonucunda lityum-iyon pilin batarya dinamiği açısından nikel-metal hidrit pile göre birçok avantajı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan yöntem ve elde edilen modelin laboratuvar ölçekli ve ticari olmayan pillerin geliştirilmesine ve enerji ihtiyacını karşılama kabiliyetlerinin belirlenmesine temel oluşturabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal empedans spektroskopisi, şarj edilebilir pil, eşdeğer devre modeli, pil performansı, gözenekli elektrot.

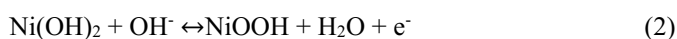
* Corresponding Author: xxxx@xxx.xx.xx

1. Introduction

The need for diversification of renewable energy sources and the rapid increase in electric transportation have increased the importance of electrochemical energy storage in recent years. The transformation of vehicles used today into electric vehicles instead of internal combustion engines is of great importance in terms of the environment and our quality of life [1]. Applications in this innovative field require energy storage on a large scale and require high energy and high-power energy storage systems with robustness, low price [2,3]. However, the increase in the need for portable electronic and electrical devices in recent years has brought the need for high performance batteries.

Batteries used in energy storage are divided into two groups as primary (non-rechargeable) and secondary (rechargeable) batteries. Lead-acid, nickel-cadmium, nickel-iron, nickel-zinc, silver-zinc, silver-cadmium, zinc-manganese, nickel-metal hydride, and lithium-ion batteries are rechargeable batteries. Nickel-metal hydride (Ni-MH) and lithium-ion (Li-ion) batteries are widely used in energy storage applications due to their features such as high energy density, long usage times, fast charging, and suitable operating ranges in terms of both potential and temperature. [4].

Ni-MH batteries were discovered in the 1960s and have been commercially available since 1989 for power tools, robots, vacuum cleaners, electric toys, cordless phones, cell phones, emergency lighting systems, laptop computers, calculators, portable recorders, toys, photography, and video equipment, wireless mice and keyboards, hybrid electric vehicles, industrial energy storage and energy storage systems for light rail systems [5-7]. Ni-MH batteries have many important features compared to other battery technologies such as wide temperature operating range, long usage time and high specific power. These features have led many researchers and the energy market to work on these batteries in recent years [6]. In the Ni-MH battery, hydrogen absorbing metal alloy (metal hydride, MH) is used as the positive electrode, while nickel oxyhydroxide, which is reduced to nickel hydroxide in case of discharge, is used as the negative electrode [8]. The positive and negative electrodes of cylindrical Ni-MH batteries are separated by a separator. This separator prevents short circuit between the electrodes, allows current flow in the structure, provides ion diffusion and separates different electrode reactions from each other. In this type of Ni-MH batteries, potassium hydroxide and some additives that will keep the KOH concentration constant during the charge-discharge processes of the battery are used as electrolyte [7]. The electrochemical reactions in a basic Ni-MH battery are given below [7]:



The reaction taking place at the negative electrode (anode) is shown in Equation 1. M is a metal that can reversibly store hydrogen, and the hydride alloy is denoted MH. The potential applied during the charging process splits the water molecule into a proton and a hydroxide ion. The protons formed are transported to the surface of the MH alloy particles and from there into the alloy stack with a repulsive force arising from the potential and diffusion difference. During the discharge process, the protons follow the opposite path. Equation 2 indicates the reaction at the positive electrode (cathode). During the charging process, the protons separate from Ni(OH)₂ and move to the cathode surface

and combine with the hydroxide ions in the electrolyte [6]. Thus, electrical energy can be converted into chemical energy by hydrogenation of hydrogen atoms into metal hydride alloys at the negative electrode and by oxidation of nickel hydroxide electrodes at the positive electrode [4].

Li-ion batteries were discovered in 1980 and started to be used commercially since the early 1990s [8]. Since the amount of energy that can be stored per unit volume and weight is high in Li-ion batteries, it has been preferred to be used in many portable electronic devices such as mobile phones, laptop computers and power devices. Li-ion batteries have increasing applications in a wide variety of fields, such as electric vehicles and stationary energy storage systems in domestic and commercial environments. Li-ion battery was first used commercially in 1991 [9]. Sony and Asahi Kasei have developed the first rechargeable Li-ion battery using graphite as the anode and lithium cobalt oxide (LiCoO₂) layers as the cathode. The increasing interest in the Li-ion battery in the world has made the Li-ion battery very popular over other secondary batteries such as NiCd, Ni-MH and Pb-acid. In 1996, different positive electrode materials such as lithium iron phosphate (LiFePO₄) and other phospho-olivines were started to be used [10]. In addition to LiCoO₂ and LiFePO₄, lithium manganese oxide, lithium nickel cobalt aluminum oxide and lithium nickel manganese cobalt oxide components can be used as positive electrode materials. The most common negative electrode is graphite, high energy density silicon and long-life lithium titanate are under development as negative electrodes.

The charge/discharge process of the Li-ion battery is realized by the intercalation process of lithium ions enter between the layers in the electrodes and move between the electrodes [8]. The general electrochemical reactions in a Li-ion battery are given below:



The reaction that takes place at the anode in Li-ion batteries is shown in Equation 3. In the charged state, a Li⁺ ion is directed to the cathode using an external circuit while passing through the electrolyte consisting of organic solvents such as ethyl carbonate, dimethyl carbonate, propane carbonate and lithium hexafluorophosphate (LiPF₆) or lithium tetrafluoroborate (LiBF₄) salts to graphite (C₆). In the discharge state, the Li⁺ ions separate from the graphitic anode settles between the metal oxide (MO₂) layers at the cathode and forms the LiMO₂ compound. This reaction taking place at the cathode is given in Equation 4. In Equations 1-4, the forward arrows show charging, the backward ones show discharging reactions.

The high energy density of Ni-MH batteries, their safe storage and long-term use expectation still enable Ni-MH batteries to be used in applications such as electric hybrid vehicles [11]. Li-ion batteries, on the other hand, stand out among the most promising technologies in the field of energy storage with their features such as high specific energy, specific power and long shelf life compared to other battery technologies such as Pb-acid and Ni-MH [12]. However, today many battery manufacturers offer a wide range of products for both individual and corporate customers. However, for many batteries, obtaining reliable information and determining battery characteristics can be quite difficult. Top companies provide guides containing technical product information such as size, weight, capacity, potential profile, and charge/discharge life as well as some measurement

methods that support these numerical data, along with the batteries and batteries they produce. Lower-priced products are medium-capacity batteries that do not contain any measurement information. Some of these low-priced batteries attempt to indicate battery quality with non-valid tests. Since very few of the consumers of private or small commercial batteries have devices and equipment to test the batteries they use, manufacturers with cheap batteries may present some false information to make their products compete with higher quality products. This affects battery selection in commercial or individual applications and the performance in applications where batteries are used [9]. Academic studies that will provide sensitive and accurate information about the quality and use cases of commercially used Ni-MH and Li-ion batteries are a necessity.

The developments in Ni-MH and Li-ion battery technologies, which are the two leading battery types in the secondary battery market, have accelerated the commercial application of these batteries in plug-in hybrid vehicles, hybrid electric vehicles and battery electric vehicles. Li-ion batteries are generally 50% lighter and 25-30% smaller than Ni-MH batteries. This has revealed the advantages such as easier application of Li-ion batteries to vehicles, more power generation for acceleration increase, energy storage of the battery through the regenerative braking system with mechanical electrical energy conversion and increased energy efficiency. However, although the power packs consisting of Li-ion batteries have remarkable advantages, Ni-MH battery packs are also used for energy storage due to the fact that they are economical in many of today's hybrid vehicles [12].

In the selection of batteries to be used in the application, there are a wide range of battery features that are very important and must be considered. Size, weight, and shape are important physical properties. Commercial Li-ion batteries come in a variety of sizes and shapes. The most common type of Li-ion battery is the cylindrical 18650 batteries with a diameter of 18 mm and a length of 65 mm. The 18650 batteries produced for use in laptop computers has been made suitable for use in various power devices, electric bicycles, portable applications, and automotive applications (for example, electric cars of Tesla Motors) due to its advantageous properties [9,13]. Considering the Li-ion batteries, the wide usage area of the 18650 batteries has made the studies with this battery interesting and increased [9]. For this reason, studies with 18650 Li-ion batteries are of great importance in the field of energy storage.

The monitoring of the charge and capacity status of the batteries is of great importance in order to make maximum use of the batteries. In this context, there are two important terms for energy storage systems: state of charge (SoC) and state of health (SoH). SoC is defined as a measure of the amount of charge the battery can give during its use, while SoH is defined as a relative measure of the battery's current usable capacity with respect to its initial use. The information that can be obtained about these two terms provides users with important impressions about the current energy capacity of the battery [14]. However, there are important deficiencies in determining the charge states of the batteries correctly and in meeting the requirements for battery management systems and charging infrastructure for various electric vehicles [15].

Battery packs are of great importance in the transition from fossil fuel vehicles to zero-emission vehicles [16]. In the design of battery packs, many factors that affect the battery configuration, such as energy/power ratio, potential range,

maximum current, and temperature range, must be considered. However, the total needed battery potential determines how many batteries should be connected in series or parallel. What is important here is the capacity of the batteries to be used and the number of connections that will be needed when these batteries are used. The industry has not yet reached a complete conclusion in determining the standard battery capacities of electric vehicles. In addition, Tesla electric vehicles use many 18650 cylindrical batteries in series and parallel configuration with a capacity of 2-3 Ah, while other electric vehicles use larger pack batteries of about 20 Ah each. This affects the battery pack design [8].

Today, the processes taking place in battery packs are of great importance in terms of fully understanding, development and safety, and studies in this area are increasingly intensified in the world [16]. However, the measurement difficulties in the load state and the difficulties in interpreting the data related to electrochemical processes and physical parameters limit their applications in practical areas [14]. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) technique has emerged as one of the techniques used in recent years to overcome the difficulties encountered in this context [16]. EIS is a fast and valid method that allows the battery to be evaluated in its natural environment and does not have destructive effects by reaching the dynamic response in load situations [14]. With the EIS method, it is possible to examine the response of an electrochemical system with small signal effects, and it is a very effective technique where it is possible to identify and analyze any point of the system [15]. Besides being widely used for electrochemical batteries as an analytical method, EIS also has important uses for sensor systems, corrosion processes and various other energy storage devices [17]. EIS tests are performed by applying a low amplitude alternating current (ac) wave command signal at different frequencies. If the input signal applied during EIS measurement is current, galvanostatic analysis will be performed, while if the input signal is potential, potentiostatic analysis will be performed. From here, the impedance value is a transfer function calculated by the ratio of potential and current at each tested frequency [14].

Models such as electrochemical model, mechanical model and equivalent circuit model have been started to be developed for the estimation of various parameters of batteries and battery systems. However, a battery model with numerical efficiency and high accuracy has not been developed yet [18]. Recently, the simulation of battery impedance data at different charge levels, which also takes into account the diffusion process, can be modeled with the equivalent circuit model. Thus, the way to interpret the impedance data has been opened. In addition, model-based impedance analysis aims to better understand the mechanisms that cause a decrease in battery performance and battery capacity under different battery conditions [9,13,14]. However, the definition of an equivalent circuit model is also important for understanding the physical events that occur in the battery during the charge/discharge processes and determining the methods to be used to evaluate the utility status [15].

The EIS method can characterize electrochemical processes with Nyquist representation of the negative of the imaginary part of the impedance ($-Z_j$) as a function of the real part of the impedance (Z_r) obtained at different frequencies. Fig. 1 shows a Nyquist plot of a standard electrochemical system called a Randles circuit. In simple terms, the Nyquist plot of the impedance response of the Randles circuit, which is the equivalent circuit of the system in which an electrochemical reaction and a linear diffusion take place, is an ohmic resistance

(R_e) with the cutoff value in the high frequency region, a double layer capacitance (C_{dl}) seen as a semicircle in the mid-frequency region.) and a parallel charge transfer resistor (R_t) and a Warburg impedance element (Z_W) observed as a line with a slope of 1 in the low frequency region [15,17]. The diameter of the mid-frequency semicircle represents the R_t value. This model shows that both the reaction kinetics and the diffusion process affect the impedance. While the R_t and C_{dl} elements are related to the reactions in the electrochemical system, the Z_W element represents the linear diffusion process. In simple terms, R_t defines the resistance of charged ions to be adsorbed on the electrode surface, C_{dl} defines the capacitance value between these charged ions and the electrode surface, and Z_W defines the distance of the travels of the reactants diffused in the active material and is an indicator of the diffusion-limiting reactions occurring in the system [17].

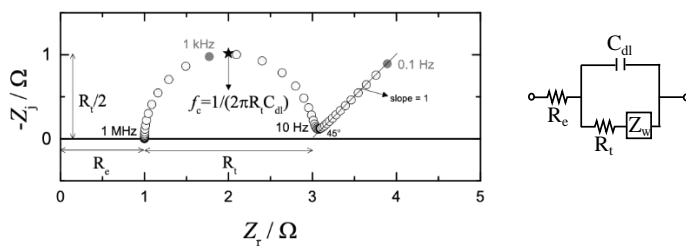


Fig. 1 The simulation of an impedance spectrum in Nyquist format for the Randles circuit shown on the right handside. Here, the values of the circuit elements are $R_e = 1 \Omega$, $R_t = 2 \Omega$, $C_{dl} = 100 \mu F$, Warburg impedance, $Z_W(f) = A_W / \sqrt{2\pi f}$ with Warburg coefficient, $A_W = 1 \Omega s^{-0.5}$, and characteristic frequency $f_c = 797,55 \text{ Hz}$ [19].

Suppressed semicircles found in the impedance spectra of electrochemical systems show that some improvements are needed in the Randles circuit to develop the circuit model. The suppressed semicircles can be caused by surface roughness and varying thickness of the electrodes, uneven current and inhomogeneous reaction rate. Usually, these half-circles are represented as a non-physical circuit element called a constant phase element (CPE) in equivalent electrical circuit representation of impedance [14].

In the Nyquist representation of rechargeable batteries, the separation of ions from the electrolyte or electrodes (electrochemical reactions and kinetics) in the high-medium frequency (kHz-Hz) region, and the diffusion of ions and mass transfer effects in the low frequency (Hz-mHz) region can be defined. Electrochemical double layer capacitance and charge transfer in this layer can be observed in the high-mid frequency region between kHz-Hz. Inductance (L) resulting from electromagnetic effects can be observed at kHz and higher frequencies [2]. However, since most electrical applications do not occur at high frequency, inductive behavior can be neglected [12]. Thus, information about the processes occurring in battery packs formed by batteries and battery systems at various frequencies can be obtained.

In this study, it is proposed to investigate the electrochemical properties of commercially available Ni-MH and Li-ion batteries by performing charge, discharge, and impedance measurements at room temperature. The batteries were brought to the same potential and their electrochemical impedance properties in the equal frequency range were compared. The electrochemical characterization of the batteries was done by impedance analysis and equivalent circuit modeling.

2. Material and Method

2.1. Materials and Instrumentation

Electrochemical analyzes and equivalent circuit mathematical modeling were performed using the Gamry Reference 3000 Potentiostat/Galvanostat device and its software. In electrochemical analysis, Duracell brand 6HR61 model Ni-MH battery (width: 24.5 mm, height: 46.5 mm, thickness: 17.5 mm, operating potential range: 7.0-9.5 V, capacity: 1700 mAh) and Sony brand 18650 model Li-ion batteries (diameter: 18 mm, height: 65 mm, operating potential range: 3.0-4.2 V, capacity: 3000 mAh) are used. The Gamry Framework within the Reference 3000 Potentiostat/Galvanostat purchased from Gamry Instruments was used to perform electrochemical impedance measurements, as well as charging and discharging. The potentiostat was connected to a desktop computer. All the impedance data gathered was regressed in the Gamry Echem Analyst built in the computer.

2.2. Method

First, open circuit potential (OCP) measurements of the Li-ion battery for 5 minutes were done at one-second intervals. Two Li-ion batteries were charged separately to a cell potential of 4 V in two steps by applying a constant current. The total cell potential of two Li-ion batteries was brought to 8 V by connecting the Gamry device in series with the help of the battery holder. OCP measurements were taken for 2 minutes after each procedure. The potentiostatic EIS analyzes of Li-ion batteries with a potential of 8 V were performed with an alternating current of 10 mV amplitude in the frequency range of 100 kHz-10 mHz.

For the Ni-MH battery, OCP measurement was performed for 5 minutes at one-second intervals. The 6HR61 Ni-MH battery pack, consisting of 6 series-connected 1.5 V potential Ni-MH batteries, was discharged gradually. The galvanostatic EIS analysis of the 8 V potential Ni-MH battery was carried out with an alternating current of 10 mA in the frequency range of 100 kHz-10 mHz.

All experiments were performed at room temperature (approximately 20 °C) and experiments with the same type of battery were repeated 3 times to ensure results were both consistent and reproducible. Consistent and precise procedures have been enabled to reduce errors between the software in the Gamry instrument and repeated experiments. In addition, the reliability of all impedance data obtained was confirmed by examining the Kramers-Kronig relationship [19].

3. Results and Discussion

3.1. Charge and Discharge

OCP measurement was performed to determine the initial cell potential of the 18650 Li-ion battery and the initial potential was determined to be 3.50 ± 0.02 V. After this process, the cell potential of each battery was gradually increased to 3.75 V and then to 4.00 V. These charging processes were carried out with chronopotentiometry, in which a constant current of 1 A is applied and the potential is increased, and then chronoamperometry, where the potential is kept constant and the current approaches zero by slowly decreasing the current.

OCP measurement was performed to determine the initial cell potential of the 6HR61 Ni-MH battery, and the initial potential was determined to be 8.50 ± 0.02 V. After this process, the cell potential of the Ni-MH battery was discharged galvanostatically by applying a constant current of 17 mA - the standard discharge current written on the battery - and OCP measurement was taken for 2 minutes after the 8 V potential was reached. As a result of this measurement, it was determined that the battery was self-charged to 8.40 ± 0.02 V potential. Then, a second discharge was carried out by reducing the discharge current to 5 mA in order to prevent the battery from self-charging. As a result of this process, OCP measurement was carried out for 2 minutes to determine the cell potential, and after reaching 8 V potential, the potential increased to 8.20 ± 0.02 V and it was observed that the battery was recharged by itself. After that, the discharge current was reduced to 1 mA and a third discharge was carried out. As a result of this process, OCP measurement was carried out for 20 minutes in order to determine the cell potential and it was observed that the battery potential was fixed at 8.00 ± 0.02 V.

3.2. Impedance Analysis

Impedance spectroscopy analyses were performed to examine in detail the electrochemical properties of Li-ion and Ni-MH battery packs brought to two equipotential potentials (8 V).

The Nyquist graph of the Li-ion battery is shown in Fig. 2. The impedance values (positive imaginary part) seen in the high frequency region (100-2.5 kHz) in this graph are generally interpreted as an inductive effect in electrochemical processes [19]. However, there is no inductive effect in Li-ion batteries, or it is observed at very low levels, and it is thought that the impedance values in this frequency range are caused by the impedance response (noise) of the cables and connectors of the potentiostat device. Therefore, for 18650 Li-ion batteries, it is only possible to examine the electrochemical properties of the battery by performing impedance analysis with an initial frequency of less than 100 kHz (for example, 3 kHz). The impedance data obtained in the mid-frequency (2.5 kHz-2.5 Hz) region form a semicircle called the "capacitive loop". This semicircle in the Nyquist plot represents the reactions taking place at the electrodes inside the battery. In general, the first half circle at higher frequency shows the electrochemical reaction at the negative electrode (anode), and the second half circle at lower frequency shows the electrochemical reaction at the positive electrode (cathode). The desired electrochemical reaction at the anode is the placement of lithium ions, called intercalation, between graphite layers. However, lithium ions can form a solid-electrolyte interphase (SEI) on the graphitic anode by reacting with organic solvents from the electrolyte components in the charged state. The SEI layer is a passivating film formed on the

surface of the active electrode material, as well as protecting the electrolyte and other battery components (especially the graphitic anode) from various undesirable reactions. The most common cause of capacity reduction in Li-ion batteries is the irreversible loss of Li-ions due to SEI formation [20]. Therefore, the charge transfer resistance of the SEI layer on the negative electrode is higher than the cathode resistance of the battery. As a result, it can be concluded that the impedance data with a wider semicircle belong to the negative electrode [19]. However, the total impedance values of two Li-ion batteries in series are observed as a single semicircle. The reason for this can be shown as the SEI layers do not develop much since both batteries are not yet subject to charge/discharge cycles. If the batteries are charged/discharged many times, it can be observed that the impedance values at higher frequency will form a larger semi-circle [19]. In the low frequency (2.5 Hz-10 mHz) region, a line with a slope of approximately 51.5° (with a slope greater than 1) is observed, which is the angle of impedance with the abscissa (real part axis). The linear impedance data in this region is formed by the diffusion of mobile ions in the electrochemical systems within the electrodes [19]. The slope of the line here gives information about the diffusion mechanism. It is shown in Fig. 1 that the slope of the line in the low frequency region observed in the impedance response of the Randles circuit is 1. This indicates that ions in the relevant system have a diffusion mechanism that obeys Fick's second law. The fact that the slope of this line in the impedance of the Li-ion battery is greater than 1 indicates that the diffusion of lithium ions deviates from Fick's second law [19].

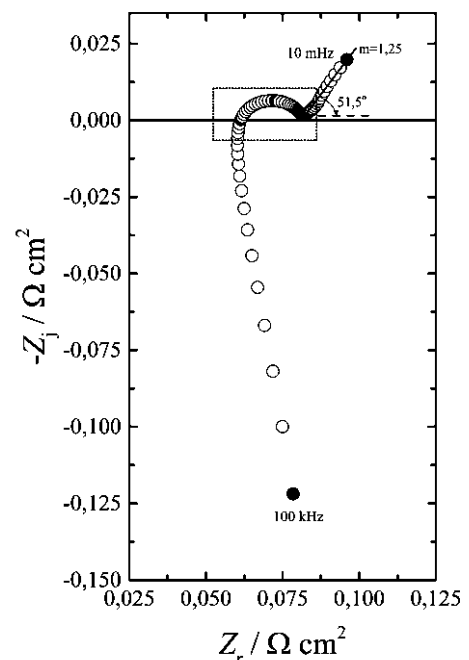


Fig. 2 Impedance response in Nyquist representation of two 18650 Li-ion cells connected in series at 8 V combined. Capacitive-loop values are corresponding to the box.

Nyquist graph of Ni-MH battery is given in Fig. 3. The impedance values seen in the high frequency region (100-25 kHz) in this graph are due to the impedance response (noise) of the cables and connectors of the potentiostat device of the battery. This value of the impedance of the Ni-MH battery is much lower than that of the Li-ion battery. It can be said that the frequency range chosen for the investigation of the electrochemical

properties of the battery is more suitable for the Ni-MH battery. The impedance data obtained in the mid-frequency (25 kHz-2.5 Hz) region consists of at least one suppressed semicircle. The suppressed shape of the semicircles in the Nyquist diagram is related to the roughness and heterogeneity of the electrode surface [19]. The first half circle seen at higher frequency shows the electron transfer process occurring in the hydrogen oxidation reaction on the negative electrode surface. The second half circle, which is suppressed at a lower frequency, belongs to the charge transfer process occurring at the interface of the positive electrode and the electrolyte, and in this process, the reduction reaction of the active material, NiOOH, takes place [13]. In the low frequency (2.5 Hz-10 mHz) region, a straight line with an impedance angle of about 71.5° and a slope of about 3 is observed. The diffusion mechanism of the hydrogen anion (H-, hydride) at the positive electrode is related to the linear impedance data in the low frequency region [4]. The fact that the slope of the line in the low frequency region of the Ni-MH battery is greater than 1 indicates that the diffusion of hydride ions deviates more from Fick's second law than that of lithium ions.

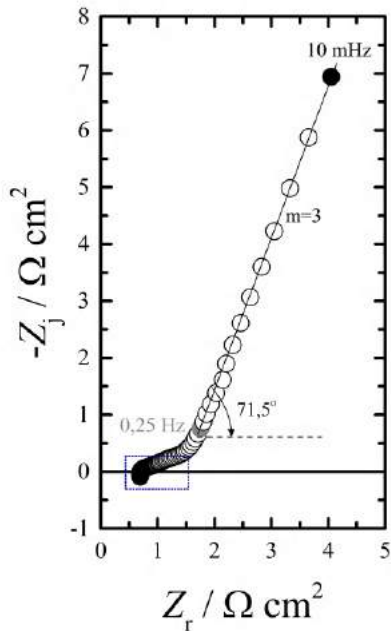


Fig. 3 Impedance response in Nyquist representation of 6HR61 Ni-MH battery at 8 V. Capacitive-loop values are corresponding to the box.

The impedance responses of two rechargeable batteries at equal cell potential (8 V) and in the same frequency range (100 kHz-10 mHz) differ. These differences indicate that the electrochemical properties of these two batteries are different. When the impedance spectra of the batteries under equal conditions (ambient temperature, cell potential, frequency range) were compared, it was determined that the impedance values of the Li-ion battery were much lower than that of the Ni-MH battery. This is evident from the Nyquist plots in Fig. 2 and 3. When the distinguishing features such as energy densities and capacities of Li-ion and Ni-MH batteries, which are commercially available today, are compared, it is seen that these features of the Li-ion battery are far superior to those of the Ni-MH battery. This caused Li-ion batteries to be preferred more in systems with high energy needs. The impedance values, which were obtained experimentally quickly and consistently and were inversely

proportional to the conductivity, made it possible to compare the ability of these two batteries to meet their energy needs. The low impedance values of the 18650 Li-ion batteries indicate high energy density, while the high impedance values of the 6HR61 Ni-MH battery indicate low energy density.

3.2. Mathematical Model

An electrochemical battery mainly consists of cathode, anode, electrolyte, separator and current collectors. Its total impedance can be composed of 5 main sources: (i) the cable and the inductive effect of metallic elements in the battery, L ; (ii) the ohmic resistance of the battery, R_e (sum of the resistances of the electrolyte, separator, and current collectors); (iii) charge transfer resistors at the interface of the electrodes, R_i ; (iv) double layer capacitance, C_{dl} or stationary phase element, CPE , and (v) diffusion impedance in the electrode stack and active material, Z_d [8,9,22]. An equivalent circuit model needs to be defined to understand and analyze the impedance responses of batteries in more detail. Depending on the number and complexity of the layers and interfaces in the battery system, there can be many circuit elements in the equivalent circuit [23]. The impedance parameters listed above can be represented as equivalent electrical circuit elements to explain an electrochemical system. This approach is widely used to illustrate EIS process models [22].

In Fig. 4, the impedance of the reactions taking place at the positive electrode is shown by a charge transfer resistor ($R_{t,c}$) and a stationary phase element (CPE_c , parameters are Q_c and α_c) parallel to this resistance. In addition, the impedance of the diffusion of mobile ions on the positive electrode is also indicated by $Z_{d,c}$, which is in series with the $R_{t,c}$ resistance. The contribution of the electrolyte and the separator to the impedance independent of the frequency is shown as the ohmic resistance (R_e). This resistance also includes the resistance values of the electrical connection areas of the battery (current collectors, etc.) and the separator. The impedance value corresponding to the reactions with the SEI layer on the negative electrode is represented by a charge transfer resistance ($R_{t,a}$) in the anode region and the double layer capacitance ($C_{dl,a}$) parallel to this resistance.

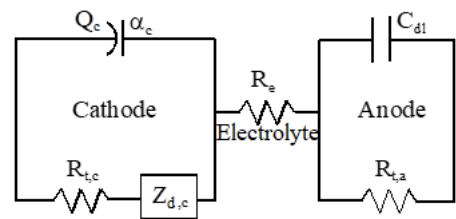


Fig. 4 Equivalent circuit representation for impedances of the Ni-MH and the Li-ion batteries

The battery overall impedance (Z) consists of the anode (Z_a), electrolyte (R_e) and cathode (Z_c) impedances, which are the main components of the battery. Since these impedances are connected in series, the Z value is expressed as the sum of these impedances as following

$$Z = Z_c + R_e + Z_a \quad (5)$$

where Z_c is the cathodic impedance that can be defined as

$$Z_c = \frac{R_{t,c} + Z_{d,c}}{1 + (j\omega)^{\alpha_c} (R_{t,c} + Z_{d,c}) Q_c} \quad (6)$$

where $Z_{d,c}$ is the diffusion impedance at the cathode derived from the transmission line model (TLM) developed by Bisquert [24].

This mathematical model is derived for porous electrodes and generally expressed as

$$Z_{d,c} = \sqrt{\frac{R_m R_k}{1+(j\omega)^{\alpha_m} R_k Q_m}} \coth \left(L \sqrt{\frac{R_m [1+(j\omega)^{\alpha_m} R_k Q_m]}{R_k}} \right) \quad (7)$$

where R_m is the resistance of the electrolyte placed in the electrode pores, R_k and CPE_m (parameters of which are Q_m and α_m) are respectively the resistance and constant phase elements of the circuit elements corresponding to the active interface impedance of the pores, and L is the dimensionless length of the TLM in the pore. In Equation (5), Z_a is the anodic impedance that can be defined as

$$Z_a = \frac{R_{t,a}}{1+j\omega R_{t,a} C_{dl,a}} \quad (8)$$

In Equations (6)-(8), j expresses the imaginary complex number, and ω is angular frequency.

In Table 1, when the charge transfer resistances of the batteries are compared, it is seen that the anodic resistance for the Li-ion battery is higher than the cathodic resistance, while it is low for the Ni-MH battery. The SEI layer seen on the negative electrode of Li-ion batteries can be said to be the reason why the anodic resistance is higher than the cathodic resistance. In Ni-MH batteries, the reason why the cathodic resistance is greater than the anodic resistance can be attributed to the absence of a layer on the negative electrode that can cause an extra resistance like SEI. It has been determined that the anodic, cathodic and electrolyte resistance values of the Ni-MH battery are much higher than those of the Li-ion battery. The higher ohmic resistance in the Ni-MH battery indicates that the battery's discharge capacity and charge/discharge cycle capability are weak. The sum of the internal resistances of energy storage devices is an important performance indicator, and a low resistance value indicates high performance. In this study, it was determined that Li-ion batteries have much higher performance compared to Ni-MH batteries. The α value, which is the exponential of the stationary phase element, is an indicator of the electrode surface roughness and usually has

a value between 0.5 and 1. α value close to 1 indicates that the roughness is low. When the α values of the Li-ion battery and the Ni-MH battery are compared, it has been determined that the Li-ion battery has a value closer to 1. This indicates that the positive electrode surface is smoother for the 18650 Li-ion battery. Likewise, an α_m value closer to 1 indicates that the pores of the Li-ion battery on the positive electrode are also smoother than the Ni-MH battery. The Q parameter, which is the coefficient of the stationary phase element, is an indicator of the battery capacity. A high Q value indicates that the ability of the electrode to adsorb mobile ions to the surface is also high. The fact that the Q_c and Q_m values of the Li-ion battery are much higher than those of the Ni-MH battery indicates that the adsorption of ions to both the electrode surface and the pores of the Li-ion battery is higher. Finally, when the electrolyte resistance and charge transfer resistances in the pores are compared, it is seen that the Ni-MH battery has higher values than the Li-ion battery. As a result of all these comparisons, it has been revealed that the 18650 Li-ion battery has much superior features than the 6HR61 Ni-MH battery in many ways in terms of battery dynamics as well as capacity and performance.

Table 1. Regression results of equivalent circuit model parameters for batteries

Parameter	6HR61 Ni-MH	18650 Li-ion
$C_{dl,a} / F \text{ cm}^{-2}$	0.06022	0.03038
$R_{t,a} / \Omega \text{ cm}^2$	0.1255	0.01363
$R_c / \Omega \text{ cm}^2$	0.7022	0.05973
$Q_c / F \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{\alpha-1}$	0.002638	0.4709
α_c	0.8375	0.9747
$R_{t,c} / \Omega \text{ cm}^2$	0.1604	0.01070
$R_m / \Omega \text{ cm}^2$	1.902	0.1779
$R_k / \Omega \text{ cm}^2$	4647	0.007223
$Q_m / F \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{\alpha-1}$	1.24	3852
α_m	0.7698	0.9135
L	0.9797	0.1172

4. Conclusions and Recommendations

In this study, electrochemical impedance analysis at the same cell potential, constant temperature, and frequency range was performed for commercial 6HR61 type Ni-MH and 18650 type Li-ion batteries which are commonly used secondary batteries. The significant physical parameters for batteries were determined by the impedance responses and the developed equivalent circuit model of these two rechargeable batteries. As a result, the lithium-ion battery has several superior properties over the nickel-metal hydride battery. In addition, the equivalent circuit and mathematical model developed with the electrochemical impedance spectroscopy technique has been shown to be effective and has a great potential for meeting the energy needs and design of future batteries.

5. Acknowledge

This work was supported by the Scientific Research Foundation at Eskisehir Osmangazi University under grant number 2017-1911.

References

- [1] Etacheri, V., Marom, R., Elazari, R., Salitra, G., Aurbach, D., "Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review", *Energ. Environ. Sci.*, 4 (9), 3243-3262, 2011.
- [2] Din, E., Schaef, C., Moffat, K., Stauth, J.T., "A scalable active battery management system with embedded real-time electrochemical impedance spectroscopy", *IEEE T. Power Electr.*, 32 (7), 5688-5698, 2017.
- [3] Mulder, G., Omar, N., Pauwels, S., Meeus, M., Leemans, F., Verbrugge, B., De Nijs, W., Van den Bossche, P., Six, D., Van Mierlo, J., "Comparison of commercial battery cells in relation to material properties", *Electrochim. Acta*, 87, 473-488, 2013.
- [4] Zhu, W.H., Zhu, Y., Tatarchuk, B.J., "Self-discharge characteristics and performance degradation of Ni-MH batteries for storage applications", *Int. J. Hydrogen Energ.*, 39 (34), 19789-19798, 2014.
- [5] Morimoto, K., Nagashima, I., Matsui, M., Maki, H., Mizuhata, M., "Improvement of electrochemical properties and oxidation/reduction behavior of cobalt in positive electrode of Ni-metal hydride battery", *J. Power Sources*, 388, 45-51, 2018.

- [6] Yan, S., Nei, J., Li, P., Young, K.H., Simon Ng, K.Y., “Effects of Cs₂CO₃ additive in KOH electrolyte used in Ni/MH batteries”, *Batteries*, 3 (4), 41, 2017.
- [7] Tarabay, J., Karami, N., “Nickel metal hydride battery: structure, chemical reaction, and circuit model”, Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAEECE), Beirut, Lebanon, 29 April-1 May, 2015.
- [8] Ed. Yan J., *Rechargeable Battery Energy Storage System Design, Handbook of Clean Energy Systems*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2801-2819, 2015, vol. 5.
- [9] Muenzel, V., Hollenkamp, A.F., Bhatt, A.I., de Hoog, J., Brazil, M., Thomas, D.A., Mareels, I., “A comparative testing study of commercial 18650-format lithium-ion battery cells”, *J. Electrochem. Soc.*, 162 (8), A1592-A1600, 2015.
- [10] Balasundaram, M., M., Ramar, V., Yap, C., Li, L., Tay, A.A., Balaya, P., “Heat loss distribution: Impedance and thermal loss analyses in LiFePO₄/graphite 18650 electrochemical cell”, *J. Power Sources*, 328, 413-421, 2016.
- [11] Piłatowicz, G., Marongiu, A., Drillkens, J., Sinhuber, P. and Sauer, D.U., “A critical overview of definitions and determination techniques of the internal resistance using lithium-ion, lead-acid, nickel metal-hydride batteries and electrochemical double-layer capacitors as examples”, *J. Power Sources*, 296, 365-376, 2015.
- [12] Castano-Solis, S., Serrano-Jimenez, D., Gauchia, L. and Sanz, J. “The influence of BMSs on the characterization and modeling of series and parallel Li-ion packs”, *Energies*, 10 (3), 273, 2017.
- [13] Zhu, Y., Zhu, W.H., Davis, Z., Tatarchuk, B.J., “Simulation of Ni-MH batteries via an equivalent circuit model for energy storage applications”, *Advances in Physical Chemistry*, 2016, 4584781, 2016.
- [14] Robinson, J.B., Darr, J.A., Eastwood, D.S., Hinds, G., Lee, P.D., Shearing, P.R., Taiwo, O.O. and Brett, D.J., “Non-uniform temperature distribution in Li-ion batteries during discharge-A combined thermal imaging, X-ray microtomography and electrochemical impedance approach”, *J. Power Sources*, 252, 51-57, 2014.
- [15] Galeotti, M., Giammanco, C., Cinà, L., Cordiner, S. and Di Carlo, A., “Synthetic methods for the evaluation of the State of Health (SOH) of nickel-metal hydride (NiMH) batteries”, *Energ. Convers. Manage.*, 92, 1-9, 2015.
- [16] Wolff, N., Harting, N., Heinrich, M., Röder, F. and Krewer, U., Nonlinear frequency response analysis on lithium-ion batteries: A model-based assessment, *Electrochim. Acta*, 260, 614-622, 2018.
- [17] Ferg, E.E., van Vuuren, F., “Comparative capacity performance and electrochemical impedance spectroscopy of commercial AA alkaline primary cells”, *Electrochim. Acta*, 128, 203-209, 2014.
- [18] Yang, Q., Xu, J., Cao, B., Li, X., “A simplified fractional order impedance model and parameter identification method for lithium-ion batteries”, *Plos One*, 12 (2), e0172424, 2017.
- [19] Erol S., *Impedance Spectroscopy Analysis and Modeling of Lithium-ion Batteries*, Saarbrücken, Germany: Lambert Academic Publishing, 2016.
- [20] Pinson, M.B., Bazant, M.Z., “Theory of SEI formation in rechargeable batteries: capacity fade, accelerated aging and lifetime prediction”, *J. Electrochem.Soc.*, 160 (2), A243-A250, 2013.
- [21] Bisquert J., Compte, A., “Theory of the electrochemical impedance of anomalous diffusion”, *J. Electroanal. Chem.*, 499, 112-120, 2001.
- [22] Lvovich, V.F., *Impedance Spectroscopy: Applications to Electrochemical and Dielectric Phenomena*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2012.
- [23] Erol, S., “Process Model Development of Lithium-ion Batteries—An Electrochemical Impedance Spectroscopy Simulation”, *Sakarya University Journal of Science*, 24(6), 1191-1197, 2020.
- [24] Bisquert, J., “Influence of the boundaries in the impedance of porous film electrodes”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2 (18), 4185-4192, 2000.



Kalman Filter Implementation on Field-programmable Gate Array for Navigation Applications of Unmanned Aerial Vehicles

Metin Mert Deniz^{1*,2}, Ufuk Sakarya³

^{1*} Turkish Aerospace Industries, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6370-4887), metinmert.deniz@tai.com.tr

² Yıldız Technical University, Graduate School of Science and Engineering, Department of Avionics Engineering, İstanbul, Turkey

³ Yıldız Technical University, Faculty of Applied Sciences, Department of Aviation Electronics, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8365-3415), usakarya@yildiz.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.992118)

ATIF/REFERENCE: Deniz, M. M. & Sakarya, U., (2021). Kalman Filter Implementation on Field-programmable Gate Array for Navigation Applications of Unmanned Aerial Vehicles. *European Journal of Science and Technology*, (28), 152-156.

Abstract

In recent years, unmanned aerial vehicle (UAV) applications have been widely used in various manufacturing areas for the purpose of material handling or monitoring tasks. This situation increased the importance of proper estimation of UAVs' location. This paper presents hardware based Kalman Filter implementation for UAVs to accurately locate/detect its positions. To maintain high performance and compact form factor, Field-programmable Gate Array (FPGA) has been used as a hardware source. However, Kalman Filter algorithm needs lots of matrix computation and the typical implementation of matrix computations in hardware is complex and requires more effort than traditional software-based approaches. Matrix inversion computation in the Kalman gain formula is one of the most difficult matrix calculations in Kalman Filter algorithm and Chebyshev type inversion is used as a matrix inversion method to simplify hardware implementation. The proposed method simulated on both Matlab and Vivado based on the same scenario and numerical results of Kalman Filter and Chebyshev algorithm compared between these two simulation platforms. According to experimental results, the proposed solution serves compact and high performance standalone solution via FPGA for Kalman Filter implementation for UAVs.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Kalman Filter, Chebyshev Inversion, Field-programmable Gate Array, Navigation Application, Autonomous Systems.

İnsansız Hava Araçlarının Seyrüsefer Uygulamaları İçin Sahada Programlanabilir Kapı Dizisinde Kalman Filtresi Gerçekleştirilmesi

Öz

Son yıllarda insansız hava aracı (İHA) uygulamaları, malzeme taşıma veya izleme görevleri amacıyla çeşitli imalat alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum İHA'ların yerinin doğru tahmin edilmesinin önemini arttırmıştır. Bu makale, İHA'ların konumlarının doğru bir şekilde konumlandırılması/tespit edilmesi için donanım tabanlı Kalman Filtresi uygulamasını sunmaktadır. İHA'ların yüksek performans ve kompakt form faktörünü korumak için, Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) donanım kaynağı olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, Kalman Filtre algoritması çok sayıda matris hesaplamasına ihtiyaç duyar. Matris hesaplamalarının donanımda tipik uygulaması karmaşıktır ve geleneksel yazılım tabanlı yaklaşımlardan daha fazla çaba gerektirir. Kalman kazanç formülündeki matris ters çevirme hesaplaması, Kalman Filtre algoritmasındaki en zor matris hesaplamalarından biridir ve donanım uygulamasını basitleştirmek için bir matris ters çevirme yöntemi olarak Chebyshev tipi ters çevirme metodu kullanılmıştır. Önerilen yöntem, aynı senaryoya dayalı olarak hem Matlab hem de Vivado üzerinde simülasyonu yapılmıştır ve Kalman Filtresi ve Chebyshev algoritmasının sayısal sonuçları bu iki simülasyon platformu arasında karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, önerilen çözüm, İHA'lara yönelik Kalman Filtre uygulaması için FPGA üzerinden kompakt ve yüksek performanslı bağımsız bir çözüm sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Kalman Filtresi, Chebyshev Matris Tersi Alma, Sahada Programlanabilir Kapı Dizisi, Navigasyon Uygulaması, Otonom Sistemler.

* Corresponding Author: metinmert.deniz@tai.com.tr

1. Introduction

The number of UAV implementations increase with the demand of autonomous systems in production areas that try to implement Industry 4.0 solutions. Because of that, the fast and accurate state estimation for UAVs became more necessary and important for these production areas such as factories. Study of Khosiawan & Nielsen (2016) can be given as indoor application for UAVs.

Kalman Filter is much known estimation algorithm and it has been used in diverse areas for navigation and control purposes (Kim & Bang, 2019). Hence it is suitable algorithm for state estimation of UAVs.

There are many software based Kalman Filter implementation has been in literature; but, UAV applications desires high performance in a light and compact form and thus, it can be a problem in software-based approaches (Soh & Wu, 2017).

Hardware implementation approaches offer high performance over software-based approaches in terms of a power usage and an execution-time. However, hardware implementation approaches tend to increase complexity and development time of overall design. In addition, they decrease the flexibility with its application specific structure. Field-programmable gate arrays (FPGAs) are suitable for reducing these disadvantages in contrast to traditional application-specific-integrated-circuit (ASIC) approaches. Nevertheless, they still need more development time than software based approaches (Soh & Wu, 2017).

Kalman Filter algorithm includes lots of matrix computations such as matrix multiplication and matrix inversion. As the dimension of matrixes increase, computation complexity increases. Performing matrix inversion calculation on FPGA is complex and takes large area. There are two implemented methods that are frequently used to calculate the inversion of a matrix in hardware: One of them is CORDIC algorithm (Lu et al., 2010). The other is QR decomposition (QRD) (Bai et al., 2012), (Stanislaus & Mohsenin, 2013). However, developing and implementing these algorithms in FPGA is not easy. Hence, Chebyshev algorithm have been used to find matrix inverse to purpose of decreasing complexity and development time (Rico-Aniles et al., 2014), (Rawal, 2015).

In this paper, Kalman Filter implementation on FPGA for navigation applications of UAVs is presented for the selected scenario. The matrix inversion has been implemented on FPGA with Chebyshev type matrix inversion method that makes easier to development process of hardware implementation (Rico-Aniles et al., 2014), (Rawal, 2015). VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Hardware Description Language (VHDL) design on FPGA is demonstrated by using Xilinx Vivado Design (WebPack) Program (Xilinx, 2021). The selected scenario is simulated using Matlab Program (Mathworks, 2021). There are two input sources for the selected scenario: The position and velocity values coming from GNSS receiver and the accelerometer values coming from the inertial measurement unit (IMU). These are generated by using Matlab and these are given into the FPGA simulation. The simulation results which are obtained by using Matlab are accepted as ground truth. The simulation results which are obtained by using FPGA simulation are compared with the ground truth results.

The rest of the paper is planned as follows: The next section presents the related works from literature. In Section 3, the proposed method is introduced. The selected scenario and the

simulation results are demonstrated in Section 4. Finally, the last section gives some concluding remarks and future issues.

2. Related Works

Kalman Filter is an estimation method (Kim & Bang, 2019). It takes series of measurements as inputs and it generates estimates of unknown variables as outputs. It can be used in several areas for the purpose of navigation using IMU/GNSS, terrain-referenced navigation (TRN), battery-range estimation, target tracking, control systems and much more. In this work, our interest is Kalman Filter for the navigation application by using the position and velocity values coming from GNSS receiver and the accelerometers values coming from the inertial measurement unit (IMU).

To use a Kalman Filter in GNSS application, first step is establishing a proper model with state vector and measurement vector. In established model, the UAV state (position and velocity) are estimated. Position and velocity (in 3-D) construct the state vector below that dimension is 6 (Kim & Bang, 2019):

$$x = [p^T, v^T]^T \quad \text{Eq. (1)}$$

where p is position vector, v is the velocity vector in 3 dimensional space. Then, state vector in time k can be estimated by using the previous state vector in time k-1 as;

$$x_k = Fx_{k-1} + Ba_{k-1} + w_{k-1} \quad \text{Eq. (2)}$$

where B is a matrix (control), F is a matrix (state transition), w is a noise generated by process.

Measurement vector can be formed as;

$$z_k = \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \end{bmatrix} + v_k \quad \text{Eq. (3)}$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad \text{Eq. (4)}$$

where v_k is measurement noise and H is measurement matrix.

After filter model is established, filter algorithm can be started. Kalman Filter comprises of two steps that are prediction and update. In prediction step, estimations are made according to previous measurement and estimations Eq. (5) and Eq. (6). In update step, measurement residual and Kalman gain are calculated according to new measurements Eq. (7) and Eq. (8). Then, state estimate and error is updated based on Kalman gain Eq. (9) and Eq. (10). The prediction and update formulas are below (Kim & Bang, 2019):

$$x_k = Fx_{k-1} + Bu_{k-1} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$P_k = FP_{k-1}F^T + Q \quad \text{Eq. (6)}$$

$$y_k = z_k - Hx_k \quad \text{Eq. (7)}$$

$$K_k = P_kH^T(R + HP_kH^T)^{-1} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$x_k = x_k + K_k y \quad \text{Eq. (9)}$$

$$P_k = (I - K_kH)P_k \quad \text{Eq. (10)}$$

where I is identity matrix and R is measurement noise covariance matrix. In order to obtain detail information for this issue, can be studied from Kim & Bang (2019).

Matrix inversion implementation on FPGA is not easy. One of the solution approaches for matrix inversion implementation on FPGA is Chebyshev algorithm. The Chebyshev-type matrix inversion method is given by Rico-Aniles et al.(2014) and Rawal (2015).

$$N_{m+1} = N_m(3I - AN_m(3I - AN_m)) \quad \text{Eq. (11)}$$

where N_{m+1} is a next inverse approximation, N_m is a previous inverse approximation and A is a matrix to be inverted.

This algorithm starts with an initial guess and continues iteratively until to make true estimation. Hence it is important to give a proper initial estimate, otherwise it cannot converge.

Proper initial guess that assures the method's convergence can be made with Eq. (12) (Rico-Aniles et al., 2014), (Rawal, 2015) :

$$N_0 = \frac{A^T}{\|A\|_1 \|A\|_\infty} \quad \text{Eq. (12)}$$

where N_0 is initial guess, A^T is transpose of A, $\|A\|_1$ is the maximum value of the summation of the elements on the each column, $\|A\|_\infty$ is the maximum value of the summation of the elements on the each row.

The entire algorithm can be summarized as below (Rico-Aniles et al., 2014), (Rawal, 2015):

Input: Matrix A

Precondition: $N_0 = \frac{A^T}{\|A\|_1 \|A\|_\infty}$

Iteration:

$$N_{m+1} = N_m(3I - AN_m(3I - AN_m))$$

Verification:

If $A * N_{m+1} \approx I$ stop the algorithm

Else $N_m = N_{m+1}$ continue iterative stage

Output: N_{m+1} as A^{-1}

3. Proposed Method

In this section, the proposed state estimation method for UAV applications is presented. The proposed method uses Kalman Filter as an algorithm and uses FPGA as a hardware source.

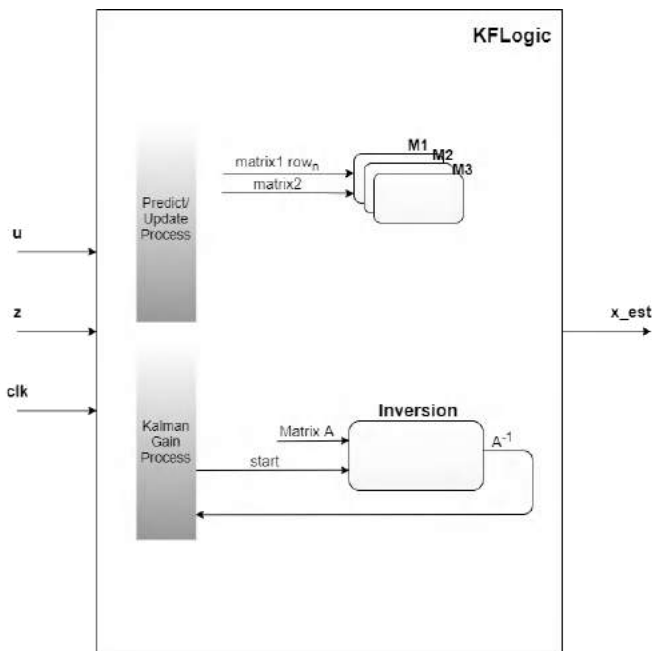


Fig. 1 System block diagram

System block diagram is shown in Fig 1. The main inputs of the system are measurements z (position and velocity vector) and u (accelerometer values). The main output of the system is updated state estimate x_est (position and velocity vectors) that represents estimation of new state.

KF Logic refers to Kalman Filter state machine algorithm that manages prediction and update processes. The main Kalman filter calculations are done in block that are state estimate prediction, error covariance prediction, calculation of measurement residual, calculation of Kalman gain, updating

state estimate and updating error covariance. The multiplier and inversion sub blocks include matrix calculation algorithms for KF Logic main block.

The M from 1 to 3 refers multipliers with different sizes for matrix multiplications that are 6x6 prod 6x6, 6x6 prod 6x1, 6x3 prod 3x1. Multipliers use DSP48 slices on FPGA. Because of the DSP48 slice count is limited on FPGA, it is not possible to calculate all row and columns of matrix multiplication simultaneously. Hence, for all multiplier sizes, first matrix is taken row by row and multiplication is performed. In order to perform a matrix multiplication with two 6x6 matrices, this module needs to be used 6 times.

In the proposed method, VHDL is used as a hardware description language and fixed point representation used as a data type. To avoid overflow of fixed point data while sum and multiplication calculations, Q16,16 representation is used that means 16 bits for integer part, 16 bits for fractional part. In this way, it guarantees the represent our calculations in range without overflow. Xilinx fixed point library is used to design for fixed point calculations (Xilinx, 2021).

KFLogic block includes two processes that are predict/update and Kalman gain calculation. Whereas predict/update process includes calculation of x_k (Eq.5), P_k (Eq.6, Eq.9 and Eq.10); Kalman gain calculation process includes calculation of y (Eq.7) and K (Eq. 8). Predict/update process starts with prediction of state estimate and error covariance. These calculations include matrix multiplications and to perform these calculations, multipliers are used in sub-blocks. When the state estimate prediction is done, Predict/update process sends a signal to Kalman gain calculation process in order to start measurement residual and Kalman gain calculation. Matrix inverse calculation is required for Kalman gain (Eq. 8). In the proposed system Chebyshev inverse algorithm from Rico-Aniles et al.(2014) is used to overcome matrix inverse calculation in Kalman gain formula. The inversion block on Fig. 1 includes this algorithm implementation. The Chebyshev inverse algorithm is composed of three parts that are preconditioning, iterative and verification states. When the Kalman gain calculation process sent to start signal to the inversion block to calculate inverse of $(R + HP_k H^T)$ in the Kalman gain formula, the Chebyshev algorithm starts preconditioning process with this flag and firstly performs its initial guess N_0 . This is an iterative algorithm, in each iteration find an estimation matrix and check estimation matrix multiply input matrix equals to unit matrix in verification state. If not equals iteration continues. It is observed that generally it takes 8-15 cycle to find inverse matrix. When the inverse calculation is done, it sends a finish signal to KFLogic to continue its Kalman filter process.

When the Kalman gain is calculated, predict/update process updates state estimate and error covariance (Eq. 9 and Eq. 10). One iteration of Kalman filter is completed and the algorithm waits for new measurements to pass a new iteration.

4. Experimental Simulation Results

In order to test the proposed design, testbench feature of Xilinx Vivado Design (WebPack) Program is used (Xilinx, 2021). Same scenario is simulated on both Matlab and Vivado testbench, then compared. In order to simulate the selected scenario on Matlab, it has been benefited from Introduction to Kalman Filter and Its Applications website (2021) and the selected scenario is defined as follows.

In the selected scenario, UAV is assumed to operate in outdoor space in a factory. UAV is moving only in x-axis with constant speed that is 2m/s and located at (0,0,0) as initial true position. For the initial state position, UAV is supposed to located at (1,1,1). Its velocity is 2m/s in x-axis and y-axis, 0m/s in z-axis that compose the initial system state vector as [1; 1; 1; 2; 2; 0].

The main inputs, that are accelerometer, GNSS position and GNSS velocity values, are generated and corrupted with noise with randn function in Matlab at every step. Standard deviation value is selected 0.6 m/s² in three axes for accelerometer, selected 3m in three axes for GNSS position and selected 0.06 m/s in three axes for GNSS velocity. Then, these input values are given to Matlab and essential vector values are generated. Thus, these vectors, i.e. u and z, are given to Vivado simulations.

Estimated position and velocity values on Matlab can be seen in Fig. 2 and Fig. 3. Also, Vivado simulation of the same values can be seen in Fig. 4 and Fig.5.

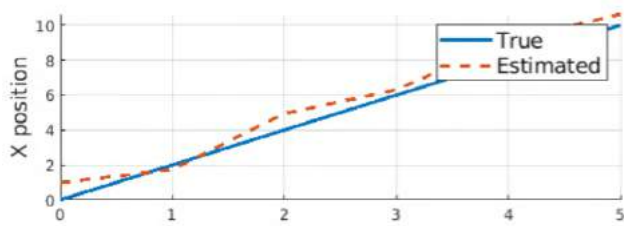


Fig. 2 Estimated position on Matlab

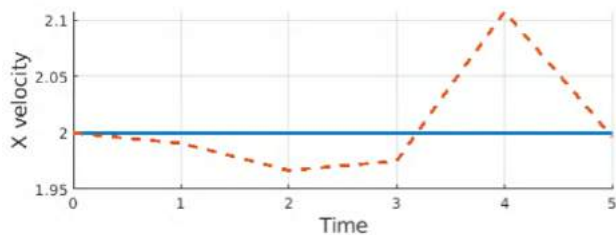


Fig. 3 Estimated velocity on Matlab

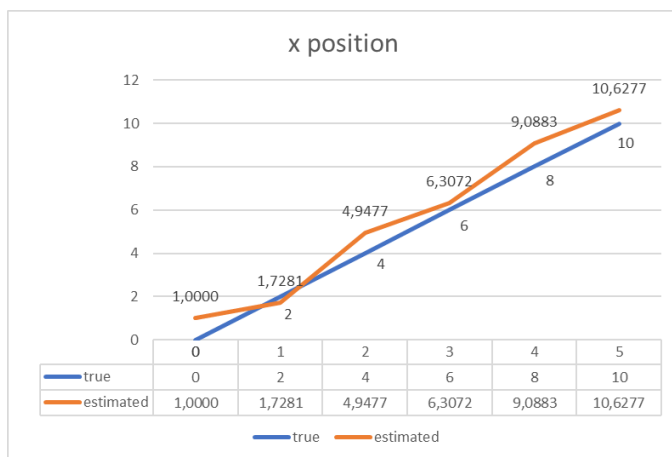


Fig. 4 Estimated position on Vivado

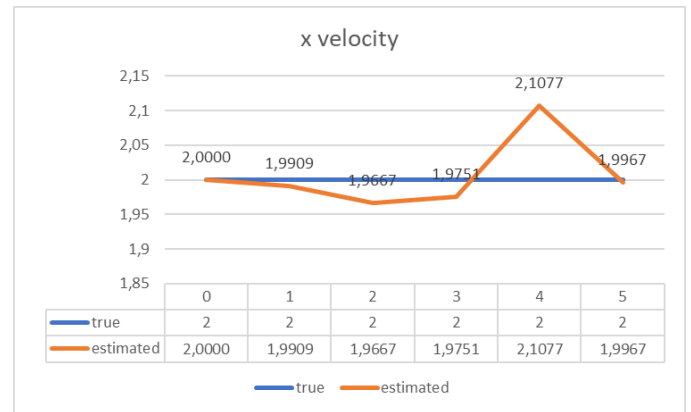


Fig. 5 Estimated velocity on Vivado

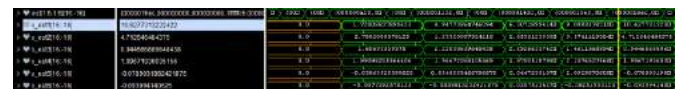


Fig. 6 Vivado testbench simulation of estimated position

On both Matlab and Vivado, estimated values are consistent with true values. Hence, it can be said that the Kalman Filter is working properly on both simulations.

Table 1 Comparison table between Matlab and Vivado

Time	Estimated position		Estimated velocity	
	Matlab	Vivado	Matlab	Vivado
0	1,00000	1,00000	2,00000	2,00000
1	1,72770	1,72808	1,99090	1,99090
2	4,94770	4,94773	1,96670	1,96670
3	6,30820	6,30718	1,97510	1,97505
4	9,08920	9,08830	2,10770	2,10765
5	10,62860	10,62770	1,99670	1,99671

Also, when estimated position and velocity values on both simulations are compared to each other (Table 1), it can be understood that, hardware solution on FPGA works with high precision.

In addition to entire Kalman Filter simulation, Chebyshev algorithm is tested individually on Matlab and its iteration count to find inverse matrix are nearly the same in FPGA approach. However; because of hardware is faster than software, this FPGA implementation saves a huge amount of time as the iteration count increase. In Fig. 7 Inverse of matrix A that size is 6x6 is calculated in Matlab in 12 iterations. In Fig. 8, inverse of same matrix is calculated in Vivado testbench.

```

iteration = 12
A = 6x6
    25.1825    0    0    0.1600    0    0
    0    25.1825    0    0    0.1600    0
    0    0    25.1825    0    0    0.1600
    0.1600    0    0    0.2509    0    0
    0    0.1600    0    0    0.2509    0
    0    0    0.1600    0    0    0.2509

Nest = 6x6
    0.0399    0    0    -0.0254    0    0
    0    0.0399    0    0    -0.0254    0
    0    0    0.0399    0    0    -0.0254
    -0.0254    0    0    4.0019    0    0
    0    -0.0254    0    0    4.0019    0
    0    0    -0.0254    0    0    4.0019

ANest = 6x6
    1.0000    0    0    0.0000    0    0
    0    1.0000    0    0    0.0000    0
    0    0    1.0000    0    0    0.0000
    0.0000    0    0    1.0000    0    0
    0    0.0000    0    0    1.0000    0
    0    0    0.0000    0    0    1.0000
    
```

Fig. 7 Chebyshev method tested on Matlab

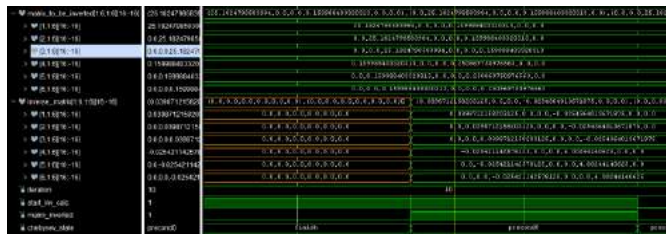


Fig. 8 Chebyshev method tested on Vivado testbench

5. Conclusion

In this paper, Kalman Filter implementation on FPGA for navigation applications of UAVs is demonstrated. Synthesizable VHDL design on FPGA is presented. The selected scenario is simulated and then it is examined on FPGA simulation. Experimental simulation results show that VHDL design on FPGA is validated. On the other hand, there is a future issue that the proposed method can be examined on the hardware by using implementation of the proposed VHDL design.

References

Bai, L., Maechler, P., Muehlberghuber, M., & Kaeslin, H. (2012). High-speed compressed sensing reconstruction on FPGA using OMP and AMP. *2012 19th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS 2012)*. doi:10.1109/icecs.2012.6463559

Introduction to Kalman Filter and Its Applications website. (2021).
Mathworks. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/68262-introduction-to-kalman-filter-and-its-applications>

ISE WebPACK Design Software website. (2021). Xilinx. <https://www.xilinx.com/products/design-tools/ise-design-suite/ise-webpack.html>

Khosiawan, Y., & Nielsen, I. (2016). A system of UAV application in indoor environment. *Production & Manufacturing Research*, 4(1), 2-22. doi:10.1080/21693277.2016.1195304

Kim, Y., & Bang, H. (2019). Introduction to Kalman Filter and Its Applications. *Introduction and Implementations of the Kalman Filter*. doi:10.5772/intechopen.80600

Lu, J., Zhang, H., & Meng, H. (2010). Novel hardware architecture of sparse recovery based on FPGAs. *2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems*. doi:10.1109/icsp.2010.5555628

Mathworks website. (2021). <https://www.mathworks.com/>

Rawal, N. (2015). HDL implementation of Kalman Filter for GNSS receiver. *2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*. doi:10.1109/iadcc.2015.7154717

Rico-Aniles, H. D., Ramirez-Cortes, J. M., & Rangel-Magdaleno, J. D. (2014). FPGA-based matrix inversion using an iterative Chebyshev-type method in the context of compressed sensing. *2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*. doi:10.1109/i2mtc.2014.6860890

Soh, J., & Wu, X. (2017). An FPGA-Based Unscented Kalman Filter for System-On-Chip Applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 64(4), 447-451. doi:10.1109/tcsii.2016.2565730

Stanislaus, J. L., & Mohsenin, T. (2013). Low-complexity FPGA implementation of compressive sensing reconstruction. *2013 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*. doi:10.1109/icnc.2013.6504167



Introducing Motherboard Components Using Virtual Reality

Hanife Boydak^{1*}, Fatma Nur Canoğlu², Ayşe Kayhan³, Fatih Başçiftçi⁴

^{1*} Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8372-5004), hanifeboydak4246@gmail.com

² Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1357-0419), fatmanurcanoglu@gmail.com

³ Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6856-8060), ayseyucel@yandex.com

⁴ Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1679-7416), basciftci@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993499)

ATIF/REFERENCE: Boydak H., Canoğlu F.N., Kayhan A., Başçiftçi F. (2021). Introducing Motherboard Components Using Virtual Reality Technology. *European Journal of Science and Technology*, (28), 157-163.

Abstract

The study aims to introduce the main component of computers, the main component of the computer, and the sockets where these components need to be installed, firstly to secondary school, high school, and university students and then to every user who installs the application by using virtual reality technology. With the online publication and use of the application, the motherboard that needs to be learned, which will be shown to the application, but not available and only photographed, is recognized and all components on the motherboard will be learned. In addition, by showing the sockets where the components need to be installed, anyone with the application will be able to easily remove and reattach all components in their computer. The application was carried out using the 3DQR program because it allows the visuals to be displayed and processed in 3 dimensions. In the written article, virtual reality technology will be mentioned, then 3DQR Studio software will be introduced in the application used in the application and will be finalized by explaining it with the visuals presented.

Keywords: Virtual, Reality, Technology, Education, Motherboard, Motherboard Components.

Sanal Gerçeklik Teknolojisi Kullanılarak Anakart Bileşenlerinin Tanıtılması

Öz

Bu çalışma, sanal gerçeklik teknolojisinden faydalanılarak öncelikle ortaokul, lise ve üniversite öğrencilerine ardından uygulamanın kurulumunu yapan her kullanıcıya bilgisayarların temel bileşeni olan anakartın, anakart üzerinde bulunan bileşenlerin ve bu bileşenlerin takılması gereken soketlerin tanıtılmasını amaçlamaktadır. Uygulanmanın çevrimiçi olarak yayınlanıp kullanılmaya başlanmasıyla birlikte elde olan anakartın yanı sıra öğrenilmeye ihtiyaç duyulan, uygulamaya gösterilecek olan fakat elde olmayan ve yalnızca fotoğrafı temin edilebilen anakart da tanınmış olup anakart üzerinde yer alan tüm bileşenlerin de öğrenilmesi sağlanacaktır. Ayrıca bileşenlerin takılması gereken soketlerin de gösterilmesiyle uygulamaya sahip olan herkes rahatlıkla bilgisayarındaki tüm bileşenleri çıkarıp tekrar yerlerine takabileceklerdir. Yapılan uygulama görsellerin 3 boyutlu olarak gösterilip işlenmesine olanak tanınması sebebiyle 3DQR programı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Yazılmış olan yazıda da öncelikle sanal gerçeklik teknolojisinden bahsedilecek, ardından yapılan uygulamada kullanılan 3DQR Studio programı tanıtılacaktır ve son olarak yapılmış olan uygulamanın da görsellerle desteklenerek anlatılmasıyla sonlandırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sanal, Gerçeklik, Teknoloji, Eğitim, Anakart, Anakart Bileşenleri.

1. Introduction

Although Virtual Reality (VR) is not a real environment created by combining software and hardware specific to its application, it is a virtual environment that feels real. With the increase in the use of smartphones in our age, virtual reality, which has been delivered to more people in easier ways, is a structure that will shed light on the technological developments to be experienced in the future [1]. Although this structure is thought to be more connected with online games today, its use in different areas is also increasing. In fact, this technology is predicted to replace the widely used smartphones in the future. Considering this estimate, it is thought that the sectors where virtual reality technology will be used will become widespread in many different areas. Virtual reality technology is used in many different areas today [2]. Health, architecture, engineering, culture, tourism, entertainment sectors, and also the education sector, which has been frequently studied recently comes first among these.

While technological developments continue rapidly, the increase in the work of virtual reality technology continues at the same speed. The feeling of the accessibility of objects, experiments, environments, and times that are invisible, inaccessible in the 3-dimensional environment of virtual reality technology brings along the curiosity and desire to work with this technology. In addition, the use of virtual reality technology in the education sector has become widespread, as the interest of all individuals in the education age has increased and the sense of excitement has increased, as well as the speed of learning [3]. The application that will be described here is an application primarily made for use in the education sector. In the practice, it is aimed to teach the types of motherboards that are available or not actually accessible to middle school, high school, and university students with a real feeling. In addition to teaching motherboard types, the components on them and the ports where these components need to be installed will be offered to all users, especially students.

2. Literature Review

The existence of some studies similar to the application made and inspiring for the application has been observed by researching the studies and articles written in our country and the world. These articles, which were found as a result of research, primarily focused on the use of virtual reality technology in the education sector and then the assembly of motherboards. Arvin Christopher C. REYES, Neil Patrick A. Del GALLEGO, Jordan Aiko P. DEJA researchers conducted studies on Mixed Reality Guidance System for Motherboard Assembly Using Tangible Augmented Reality in 2020 [4]. Ahmet Fatih AVCI, Şakir TAŞDEMİR researchers conducted studies on the subject of Augmented and Virtual Reality and Periodic Table Teaching in 2019 [5]. Mustafa SIRAKAYA, Ebru KILIÇ ÇAKMAK worked on Effects of Augmented Reality on Student Achievement and Self-Efficacy in Vocational Education and Training in 2018 [6]. Recep ASLAN, Saffet ERDOĞAN conducted studies on Medical Education in the 21st Century: Virtual Reality, Augmented Reality, Hologram in 2017 [7]. Igor D.D. CURCIO, Anna DIPACE, Anita NORLUND worked on Virtual Realities and Education in 2016 [8]. Sırakaya (2016) carried out his studies on the use of augmented reality in applied education in order to determine the effect on the motherboard assembly time and the number of errors made by the students [9].

Table 1. Studies showing the use of virtual reality technology in the education sector and motherboard assembly

Study Researchers	Publication Year	Subject of Study
Arvin Christopher C. REYES, Neil Patrick A. Del GALLEGO, Jordan Aiko P. DEJA	2020	Mixed Reality Guidance System for Motherboard Assembly Using Tangible Augmented Reality
Ahmet Fatih AVCI, Şakir TAŞDEMİR	2019	Periodic Table Teaching with Augmented and Virtual Reality
Mustafa SIRAKAYA, Ebru KILIÇ ÇAKMAK	2018	Effects of Augmented Reality on Student Achievement and Self-Efficacy in Vocational Education and Training
Recep ASLAN, Saffet ERDOĞAN	2017	21. Century Medical Education, Virtual Reality, Augmented Reality, Hologram
Igor D.D. CURCIO, Anna DIPACE, Anita NORLUND	2016	Virtual Realities And Education
Mustafa SIRAKAYA	2016	The Use of Augmented Reality in Applied Education: Motherboard Assembly
Tansel TEPE, Devkan KALECİ, Hakan TÜZÜN	2016	New Trends in Educational Technologies: Virtual Reality Applications
Giles WESTERFIELD, Antonija MITROVIĆ, Mark BILLINGHURST	2015	Intelligent Augmented Reality Training For Motherboard Assembly
H. Hakan ÇETİNKAYA, Muammer AKÇAY	2013	Augmented Reality Applications in Educational Environments
Erkan BAYRAKTAR, Fatih KALELİ	2007	Virtual Reality and Application Areas
Şahin KARASAR	2004	New Communication Technologies in Education- Internet and Virtual Higher Education-
Bülent ÇAVAŞ, Pınar HUYUGÜZEL ÇAVAŞ, Bilge TAŞKIN CAN	2004	Virtual Reality in Education
Dr. Şahin KARAHİSAR	1999	Education on the Internet
K. M. BAIRD, W. BARFIELD	1999	Evaluating the Effectiveness of Augmented Reality Displays for a Manual Assembly Task
Yrd. Doç. Dr. Servet BAYRAM	1999	Virtual Reality Applications in Education

Tepe, Kaleci, and Tuzun (2016) have conducted research on virtual reality applications with their study on new trends in educational technologies and contributed with their articles to the 10th International Computer and Instructional Technologies Symposium in the light of previous case studies in different fields [10]. Westerfield, Mitrovic, and Billinghurst (2015) studied smart augmented reality training for motherboard assembly. As a result of these studies, they came up with a prototype and observed an accuracy of 25% and a speed of 30% compared to those who did not try the prototype [11]. Çetinkaya and Akçay (2013) carried out their studies on the effect of augmented reality on teaching and learning, based on the examples of augmented reality applications used in educational environments today [12]. Bayraktar and Kaleli (2007) conducted research on virtual reality and its application areas and shared their findings on this subject through Akademik Bilişim [13]. Karasar (2004) in this study, technological developments that constitute virtual higher education were evaluated within the scope of the theory of diffusion of innovations and a model proposal that Turkey should follow was tried to be created. It is aimed to contribute to the development of a suitable model for the effects of the developments in the world on Turkey [14]. Çavaş, Huyugüzel Çavaş and Taşkın Can (2004) in the study, brief information about virtual reality was given by explaining for what purpose and how

virtual reality is used in education [15]. Karasar (1999) in the article, explanations were made about the reflection of the internet environment and virtual reality on education. It is very important for Turkey to catch up with this revolution along with the developments in the world, this technology created by the Internet [16]. Baird and Barfield (1999) in their research, they examined how effective augmented reality screens created with wearable devices are [17]. Bayram (1999) he worked on virtual reality technology in education. In the study, the use of virtual reality technology in learning environments was evaluated as the success of today's education [18]. Studies on the aforementioned subjects are detailed in Table 1 below.

3. Material

The application, whose purpose is to introduce the motherboard and the components on the motherboard, was implemented using the 3DQR Studio program. Before explaining the details of the application, the program used will be explained and then the application will be detailed.

3.1. 3DQR Studio Program

It is a ready-made platform used for augmented reality applications. It is an application that outputs a QR code. This QR code can be used anywhere.

In order to use this application, it is necessary to login from the address "3dqr.de" first. As seen in Figure 1, the site is opened in German. One-click on the flag part indicated by the red arrow is enough to change the language to an appropriate language. The English language was chosen and continued in the narration.



Figure 1. 3dqr.de main screen

First of all, we need to log into the system from this screen. After entering the system, it comes to the main screen. This screen is the main page of the system and the applications made are shown on this screen.

To create a 3dqr application, the main screen is entered and the "add new scene" button shown in Figure 2 is clicked. It is entered to the screen where the application shown in Figure 3 will be created.



Figure 2. Creating a new application

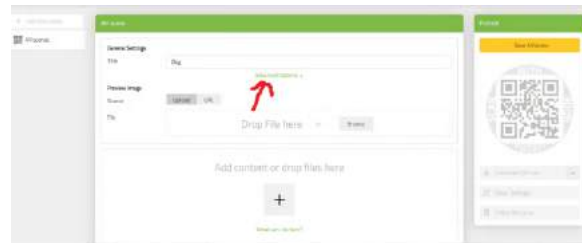


Figure 3. Application creation screen

The title of the application is entered in the "Title" section. Click on the "Advanced Option" section shown in Figure 3, and when the generated QR code is displayed on the screen, the picture to be displayed on the screen is determined. This picture can be selected from the computer or given its URL from the internet. Image articulation is performed from the computer. Click the plus (+) button to add a 3-dimensional object.

Different types of content can be added to the application as seen in Figure 4 on this screen. When video and audio additions are to be made, the loading process of the system is very slow. This is one of the disadvantages of the application. Click on the 3D model option to add a 3D object.

After this process, we go to the screen where we will add 3-dimensional objects. On this screen, a 3D object is added to the application. Here, you can add objects on the computer or give URLs over the internet

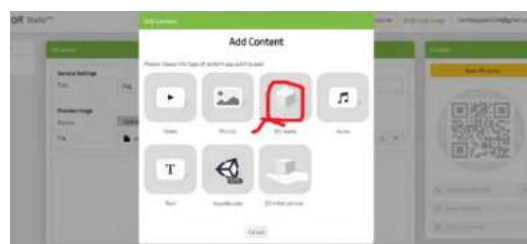


Figure 4. Adding a 3D object

After this process, we go to the screen where we will add 3-dimensional objects. On this screen, a 3D object is added to the application. Here, you can add objects on the computer or give URLs over the internet.

After the necessary editing is done, the "Save AR scene" button is clicked as shown in Figure 5.



Figure 5. Save process

After the save is done, it is necessary to test the application without downloading. As shown in Figure 6, clicking on the "Show Test Page" button opens the testing screen



Figure 6. Testing screen

In order for this application to be tested, the 3DQR application must be downloaded and installed on your mobile device. The process of putting the downloaded QR code into the picture can be done as shown in Figure 7. Then the application is run as shown in Figure 8, and as a result, it will be successfully concluded as seen in Figure 9.



Figure 7. Adding QR code to image

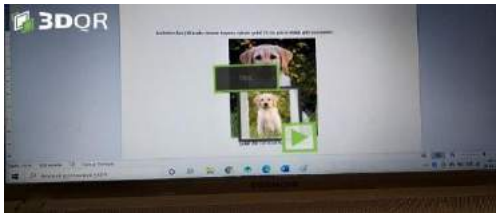


Figure 8. Running application

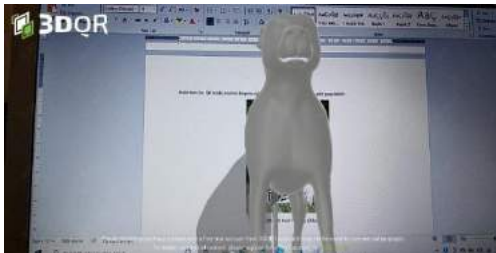


Figure 9. Operating by reading the QR code on the picture

4. Technic

This study aims to teach all users who will use the application, especially middle school, high school, and university students, the motherboard, motherboard components, and the ports where these components will be installed. In the construction of the application, the flow chart shown in Figure 10 was prepared by using the rough code given below. Then, the application was carried out by following the steps below in accordance with the scheme.

1. 3DQR studio program recording process
2. Logging into the application screen
3. Creating the application
4. Loading the 3D model of the motherboard by holding the QR on the mobile device.
5. Entering QR section materials
6. Downloading the motherboard model
7. QR registration process
8. Observing the downloaded screen part of the QR code created in the application

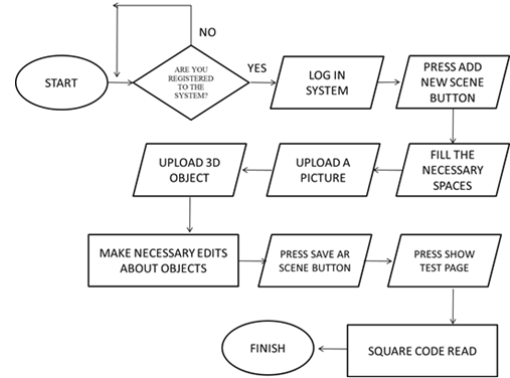


Figure 10. The flow chart followed for the construction stages of the application

Step1: 3DQR studio is an intuitive web platform for developing and managing augmented reality scenes. In order to use this application, it is necessary to login from the 3DQR address first. The registration image of the site is given in Figure 11 below.



Figure 11. Record performs screen

Step2: After entering the user's name and password, the application screen is entered. The 3DQR studio is able to record all the operations performed on the home page of the application and provides the perfect solution for a working world where more and more data is processed and machines are becoming more and more complex. Later, when the application is entered, the screenshot shown in Figure 12 below is displayed in order to update or reuse the projects.



Şekil 12. Home screen of the application

In order to create virtual reality content, 3DQR studio enables the import of various files; 3D models support a variety of standard formats for images or videos. It provides full control over the entire development process by creating your own content with well-known 3D software such as Blender, Autodesk, Maya, or Unity3D. While we can design 3D models ourselves, formats can be added from public databases such as "Turbosquid.com" or "Paint3D", regardless of whether they are professional 3D models or free alternatives.

There are some things we need to be aware of when using virtual reality applications. For example, certain formats are

allowed when using the 3D model in the 3DQR application. When using these and similar applications, the only thing to do before downloading is to change these formats. The 3DQR application we use accepts the .fbx format.

The three-dimensional model of the motherboard should be taken from the 3D software we designed or from a public database and used in a format suitable for the application. These formats are very important and it is because 3DQR technology allows .fbx format.

Step3: Creating a new QR in 3DQR technology is done from the "Add New Scene" section on the left in Figure 12. The part shown and displayed in Figure 13 is the area where we create the application.

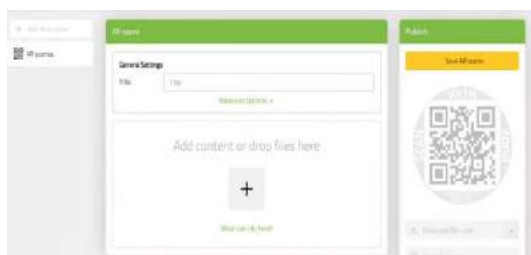


Figure 13. Application created area screen

Step4: In this application, it has been provided to generate QR by using the "advanced options" section shown in Figure 13 to display the 3D model of the motherboard on the screen. The mobile device is used for the application. The produced QR is held on the mobile device and the 3D model of the motherboard is displayed on the screen. In Figure 14 below, the 3D model of the motherboard has been uploaded on the computer in the "upload" section.

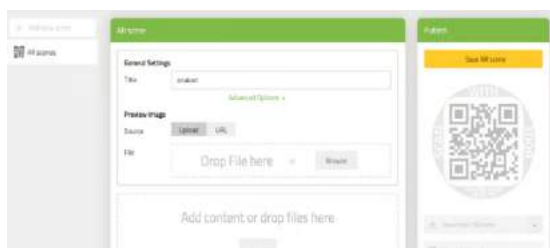


Figure 14. Image upload screen

Step5: In Figure 15, different features can be uploaded to the QR section other than the 3D model, and they can be added in materials such as video, music, pictures, and text.

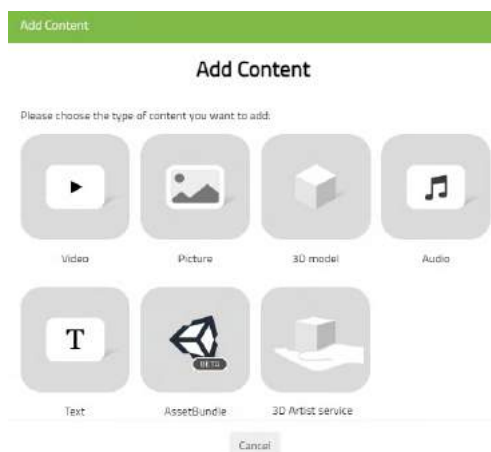


Figure 15. QR section material screen

Step6: In Figure 15, the download process of the developed motherboard model has been performed by selecting the 3D model section. The steps given in Figure 14 on the screen in Figure 16 below have been made and the motherboard model has been loaded in .fbx format.



Figure 16. Upload 3D model display

Step7: At the end of the process, the downloaded file was recorded from the screen in Figure 17 and the download process was realized.



Figure 17. QR recording screen

Step8: The downloaded version of the QR code created in the application is reflected on the screen and shown in Figure 18.



Figure 18. QR code screen

In this study, the display of motherboard components has been carried out using 3DQR technology. With the 3DQR application installed on the mobile device, the images of the QR code on the application were reflected on the screen as seen in Figure 19 and Figure 20.



Figure 19. Mobile application screen of the 3D model of the motherboard 1st motherboard



Figure 20. Mobile application screen of the 3D model of the motherboard 1st motherboard

The motherboard shown in Figure 19 has been implemented on the full screen as seen in Figure 21. Then, the names of its components and ports are written as shown in Figure 22 and Figure 23.

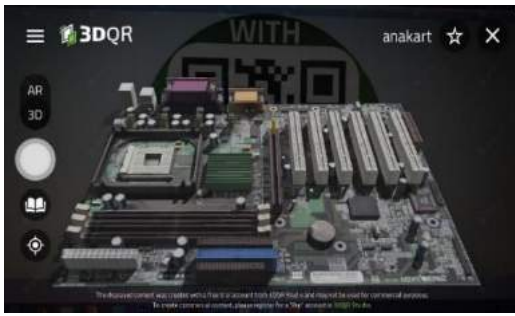


Figure 21. Motherboard 3D model display

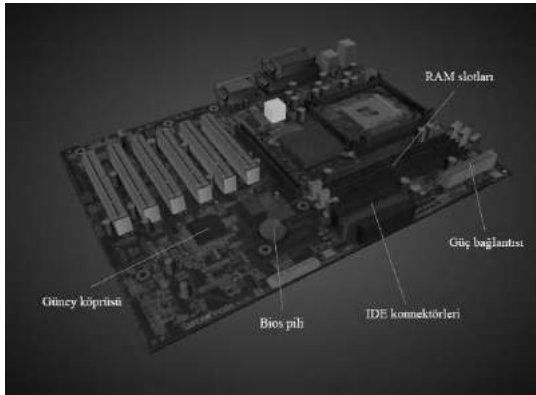


Figure 22. Motherboard 3D model components

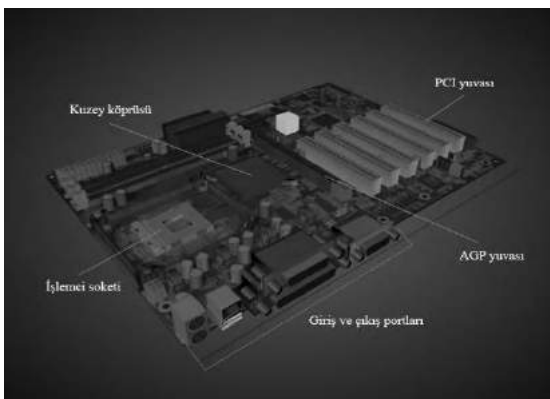


Figure 23. Motherboard 3D model components

When the port names are clicked at the last stage of the application, the explanations described below are displayed and the application is completed.

RAM Slots: RAM, which means random access memory, is lost when the power is cut off. It is known as the storage area where the information of the program that the processors run is temporarily kept. It is the slot in which RAM, the temporary memory unit of the computer, is installed.

Power Connection: A power connection is required in order to provide the necessary power to the computers and to fulfill the functions of the motherboard. These connectors are plugged into the socket on the motherboard and the power supply is connected.

IDE: Connectors that allow devices such as hard disks, optical drives (CD, DVD) to be connected to the motherboard.

Bios Battery: The bios battery on the motherboard allows the computers to keep the time and date settings in their memory.

PCI: PCI slots, which are white and have more than one number, are connected to the network, sound cards, video cards, and modems, allowing connection to the motherboard.

North Bridge: It provides information communication between the graphics card, RAM, and CPU slots.

South Bridge: It is located on the motherboard near parts such as sound card, USB devices, PCI and controls the computer's ports.

AGP: AGP bus is the accelerated graphics port and it is the slot for the computer to plug into the motherboard.

Input and Output Ports: These are the ports that provide data exchange with external hardware units. These ports can be found inside or outside the computer case.

Processor Socket: There are too many pins on the processor. These pins provide the transmission between the motherboard and the processor. The processor must match the motherboard socket and it is placed with the help of the lock on it [19].

5. Conclusions and Recommendations

As mentioned before, the application primarily targets middle school, high school, and university students and then other users who have the application. And the main purpose is to teach the motherboard, the components on it, and the ports where these components are installed. The application was started for this exact purpose, but a problem was encountered at this stage. The problem is that there have been hundreds of different motherboards since the first motherboard manufactured in 1982 [20]. For the application, it is necessary to obtain 3D images of all these motherboards and to introduce the components and ports in these images. At this stage, it will take a very long time to obtain 3D images of many different cards. The application had to be revealed and tried as soon as possible in order not to lose its originality compared to the applications made so far. For this reason, the application has been carried out on 2 different motherboards obtained for now and the test phase has started.

During the test phase, first of all, a user from middle school, high school, and university students who were interested in the subject but not knowledgeable was selected, the application was opened and its benefits were observed. Users who use the application have learned that the motherboard, its components,

and the ports where these components are installed, and they can now remove and install the components on this motherboard as they wish. Thus, even within certain limits, the application has achieved its purpose.

In the next versions of the application, all motherboards manufactured since 1982 should be introduced to the application and the components and ports on these motherboards should also be defined. In this way, the planned goal when starting the implementation will be achieved completely.

Another process that can be done in other versions of the application is to add short videos to the application that show how the motherboard components should be installed in the ports where it will be installed. In this way, the answers to the questions of which component, which port, and how to attach, will be obtained.

References

- [1] Savaş F., 2016, Dijital Dünyanın Gerçekliği, Gerçek Dünyanın Sanallığı Bir Dijital Medya Ürünü Olarak Sanal Gerçeklik, TRT akademi dergisi, ISSN 2149-9446 Cilt 01 Sayı 02 Temmuz 2016 Dijital Medya Sayısı.
- [2] Anonim, 2018, Sanal Gerçekliğin Kullanım alanları [online], <https://www.hurriyet.com.tr/kelebek-icerik-ortakliklari/nasil-kolay/sanal-gercekligin-kullanim-alanlari-40838877> (Erişim Zamanı: 20.04.2021 – 15.30)
- [3] Şimşek İ., Can T., 2019, Yüksek Öğretimde Sanal Gerçeklik Kullanımı ile İlgili Yapılan Araştırmalara Yönelik İçerik Analizi, Folklor/Edebiyat, cilt:25, sayı: 97-1, 2019/1, DOI: 10.22559/folklor.928
- [4] Arvin Christopher C. REYES, Neil Patrick A. Del GALLEGO, Jordan Aiko P. DEJA, 2020, Mixed Reality Guidance System for Motherboard Assembly Using Tangible Augmented Reality, ICVARS 2020: Proceedings of the 2020 4th International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations February 2020 Pages1–https://doi.org/10.1145/3385378.3385379.
- [5] Ahmet Fatih AVCI, Şakir TAŞDEMİR, 2019, Artırılmış ve Sanal Gerçeklik İle Periyodik Cetvel Öğretimi, Selçuk-Teknik Dergisi, Cilt 18, Sayı:2-2019 ISSN 1302-6178.
- [6] Mustafa Sırakaya, Ebru Kılıç Çakmak, 2018, Effects of Augmented Reality on Student Achievement and Self-Efficacy in Vocational Education and Training, International Journal for Research in Vocational Education and Training, 5(1), 1-18. <https://doi.org/10.13152/IJRVET.5.1.1>
- [7] Recep ASLAN, Saffet ERDOĞAN, 2017, 21. Yüzyılda Hekimlik Eğitimi: Sanal Gerçeklik, Artırılmış Gerçeklik, Hologram, Kocatepe Veterinary Journal Yıl: 2017Cilt: 10Sayı: 3ISSN: 2147-6853 / 2147-6853Sayfa Aralığı: 204 – 212.
- [8] Igor D.D. Curcio, Anna Dipace , Anita Norlund , 2016, Virtual realities and education, REM - Research on Education and Media Vol. 8, N. 2, Year 2016 ISSN: 2037-0830 – DOI: 10.1515/rem-2016-0019
- [9] Mustafa Sırakaya, 2016, Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi (KEFAD) Cilt 17, Sayı 3, Aralık 2016, Sayfa 301-316.
- [10] Tansel Tepe, Devkan Kaleci, Hakan Tüzün, 2016 Eğitim Teknolojilerinde Yeni Eğilimler: Sanal Gerçeklik Uygulamaları, 10th International Computer and Instructional Technologies Symposium (ICITS).
- [11] Giles Westerfield, Antonija Mitrovic & Mark Billingham, 2015, Intelligent Augmented Reality Training for Motherboard Assembly, International Journal of Artificial Intelligence in Education volume 25, pages157–172(2015).
- [12] H. Hakan Çetinkaya, Muammer Akçay, 2013, Eğitim Ortamlarında Arttırılmış Gerçeklik Uygulamaları, Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri 23-25 Ocak 2013 – Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- [13] Erkan BAYRAKTAR, Fatih KALELİ,2007, Sanal Gerçeklik ve Uygulama Alanları, Akademik Bilişim 2007 Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 31 Ocak-2 Şubat 2007FLEXChip Signal Processor (MC68175/D), Motorola, 1996.
- [14] Şahin KARASAR, 2004, Eğitimde Yeni İlişim Teknolojileri-İnternet ve Sanal Yüksek Eğitim-, Karasar, Ş. (2004). Eğitimde yeni ilişim teknolojileri-internet ve sanal yüksek eğitim-. The Turkish Online Journal of Educational Technology. 3(4), s. 117-125.
- [15] Bülent ÇAVAŞ, Pınar HUYUGÜZEL ÇAVAŞ, Bilge TAŞKIN CAN, 2004, Eğitimde Sanal Gerçeklik, The Turkish Online Journal of Educational Technology – TOJET October 2004, ISSN: 1303-6521, volume 3, Issue 4, Article 15R. E. Sorace, V. S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, “High-speed digital-to-RF converter,” U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.
- [16] Dr. Şahin KARASAR, 1999, İnternet Ortamında Eğitim, Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi Dergisi, 1999, Sayı 18, cilt 18, Sayfa 145 – 168.
- [17] K. M. BAIRD, W. BARFIELD, 1999, Evaluating the Effectiveness of Augmented Reality Displays for a Manual Assembly Task, Virtual Reality December 1999 <https://doi.org/10.1007/BF01421808>
- [18] Yrd.Doç. Dr. Servet Bayram, 1999, Eğitimde Sanal Gerçeklik Uygulamaları, M.Ü. Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi Yıl: 1999, Sayı: 11, Sayfa: 49-54.
- [19] Akkaya Ç., 2017, Anakartlar [online], <https://caglaakkaya.wordpress.com/2017/11/28/anakartlar/> (Access Time: 19.05.2021 – 15.30)
- [20] Pixel H., 2012, İlk Anakart [online], <https://www.technopat.net/sosyal/konu/ilk-anakart.18454/> (Erişim Zamanı: 26.04.2021 – 15.35).



Örgütsel Adalet Algısı ve Mobbingin İş Tatmini ve İşten Ayrılma Niyetine Etkisinin İncelenmesi

Muhammet Kahrıman¹, Selen Avcı^{2*}, Zerrin Aladağ³

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0111-1111), muhammetkahrıman@gmail.com

^{2*} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7433-5696), selen.avci@kocaeli.edu.tr

³ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği x Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5986-7210), zaladag@kocaeli.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994387)

ATIF/REFERENCE: Kahrıman, M., Avcı, S. & Aladağ, Z. (2021). Örgütsel Adalet Algısı ve Mobbingin İş Tatmini ve İşten Ayrılma Niyetine Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 164-171.

Öz

Günümüz rekabet koşullarında bilginin kurumsal belleğe aktarılması firmalara rekabet avantajı sağlayan önemli konulardan biridir. Çalışanların edindikleri bilgileri şirketlere kazandırabilmeleri için şirketin çalışan devir hızının düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle deneyimli çalışanları kaybetmek kurumsal olmak isteyen firmalar için önemli bir kayıptır. Bu çalışmada, çalışanların örgütsel adalet algılarının ve maruz kaldıkları mobbingin, şirketten ayrılma isteklerine, iş tatminlerine ve işe bağlılıklarına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda 8'i kişisel bilgiler olmak üzere toplam 59 sorudan oluşan bir anket oluşturulmuş ve ankete farklı sektörlerden 208 kişi katılmıştır. Öncelikle ilişkili olan soruları belirlemek ve boyutları azaltmak için faktör analizi; ardından faktörler arasındaki ilişkileri belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır. Analizden elde edilen sonuçlara göre örgütsel adalet algısındaki artışın iş tatminini olumlu yönde etkilediği ve bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırmada örgütsel adalet ile mobbing arasında anlamlı bir negatif ilişki bulunmuştur. Dolayısıyla bireylerin maruz kaldığı mobbingin örgütsel adalet algısını olumsuz etkilediği söylenebilir. Korelasyon analizi sonucunda mobbingdeki artışın işten ayrılma eğilimlerini artırdığı ve iş doyumlarını olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Anketin son bölümünde, anket katılımcılarından işten ayrılma nedenlerini cevaplamaları istenmiş ve bireylerin işten ayrılmalarına neden olabilecek hususlar arasında etkisi en yüksek olan konunun “yöneticinin tutumu” olduğu belirlenmiştir. Bu durum etkileşim adaleti algısının iş tatmini ve işten ayrılma üzerindeki etkisinin önemini göstermektedir. Ayrıca, işten ayrılma oranının en yüksek olduğu durumun, “işten memnuniyetsizlik” olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşten Ayrılma, İş Tatmini, Mobbing, Örgütsel Adalet, Faktör Analizi, Korelasyon Analizi.

Investigation of the Perception of Organizational Justice and the Effect of Mobbing on Job Satisfaction and Intention to Leave of Employment

Abstract

Nowadays, transferring information to corporate memory is one of the important issues that provide competitive advantage to companies. Therefore, losing experienced employees is an important loss for companies that want to become corporate. In this study, the effects of organizational justice perceptions of employees and the mobbing they are exposed to on their willingness to leave the company, their job satisfaction and their commitment to work were investigated. In this context, a survey consisting of 59 questions was created and 208 people from different sectors participated in the survey. According to factor and correlation analysis, it was concluded that the increase in the perception of organizational justice had a statistically positive effect on job satisfaction. In the study,

* Sorumlu Yazar: selen.avci@kocaeli.edu.tr

a significant negative relationship was found between organizational justice and mobbing. Therefore, it can be said that mobbing negatively affects the perception of organizational justice. According to correlation analysis, it was concluded that the increase in mobbing that individuals are exposed to increases their tendency to quit their job and negatively affects their job satisfaction. In addition, survey participants were asked to answer the reasons for leaving the job, and it was determined that the most influential issue among the issues that could cause individuals to leave the job was the attitude of the manager. This situation shows the importance of the effect of interactional justice perception on job satisfaction and turnover. Also, it was determined that the situation with the highest turnover rate was job dissatisfaction.

Keywords: Leave of Employment, Job Satisfaction, Mobbing, Organizational Justice, Factor Analysis, Correlation Analysis.

1. Giriş

Örgütler kendilerine özgü kültürlerini oluştururken örgüt içinde hakkaniyetle davranılması gerektiği gerçeğini göz ardı edebilmekte ve bu durum da çalışanların örgütsel adalet algısına zarar verebilmektedir. Adalet kavramı Türk Dil Kurumu tarafından “Hak ve hukuka uygunluk, hakkı gözetme” olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, 2020). İnsanın hayatın her alanındaki adalet arayışı çok eskilere dayanmaktadır. Çalışma hayatına katılımın arttığı son yıllarda bireyler, örgütlerde de bu arayışın içindedir ve bu nedenle olumsuz durumlarla karşılaştıklarında örgütle olan bağları zarar görebilmektedir.

İşten ayrılma niyeti bireyin çalışmakta olduğu örgütteki iş akdini feshetmek kaydıyla işten ayrılma isteğidir (Uslu & Aktaş, 2017). İşten ayrılma isteğinin ardında birçok neden yer alabilir. Bu nedenler arasında örgütsel adalet algısının bozulması ve çalışanların şirket içinde maruz kaldığı mobbing uygulamaları da yer almaktadır. Mobbing kavramı farklı isimlerle karşılık bulmasının yanında “yıldıрма, bezdirme, duygusal saldırı, duygusal zorbalık” gibi anlamlarda kullanılmaktadır (Usta & İrge, 2020). Mobbinge maruz kalan kişilerin genel olarak ayırt edici özelliklerinin olmadığı ve bu başlıkta yer alan olumsuz durumlarla herkesin karşılaşabileceği ifade edilmektedir. Örgütün belirlediği hedeflere göre dürüst çalışma, sorgulayıcı, sözlerinin hatalı anlaşılmasından çekinilmesi gibi genel başlıklar mobbinge maruz kalan kişilerde ortak rastlanılan başlıca tutumlardandır (Tutar, 2015). Mobbinge maruz kalan kişilerin strese bağlı olarak baş ve mide ağrısı çektiği gözlenmiştir. Uygulanan mobbingin uzun süreli olması durumunda bu semptomların sendroma dönüşebileceği ifade edilmiştir (Usta & İrge, 2020).

Mobbing uygulayan kişiler hakkında yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar, bu kişilerin belirli ortak özellikler taşıdığını göstermektedir. Aşırı kontrolcü bir kişiliğe sahip olma, şişirilmiş benlik ve yönetmeye duyulan açlığın bu kişilerde sıklıkla gözlenen davranışlar arasında yer aldığı belirtilmiştir (Ertürk A. , 2013). Çeşitli araştırmalar mobbing uygulayan kişilerin gerek çocukluk gerek yetişkinlik dönemlerinde fiziksel ve duygusal şiddete maruz kaldığını göstermiştir. Bu kişiler, şirketlerde saygı gören birilerinin de benzer psikolojiyi yaşamaları gerektiğini düşünerek bilerek veya bilmeyerek mobbing uygulayabilmektedir.

Literatürde, örgüt içi adalet anlamını taşımakta olan örgütsel adaletin üç temel boyuttan oluştuğu belirtilmektedir. Bu boyutlar dağıtımsal, prosedürel ve etkileşimsel adalettir (Tetik, 2012). Örgütsel adaletin ilk boyutu olan “dağıtımsal adalet”; çalışanlar tarafından ücret, ödül ve terfi gibi kazanımların adil olarak algılanmasını ifade etmektedir (Ünler & Gürel, 2015). Çalışan elde ettiği kazanımları diğer kişilerle kıyaslama yoluna gider ve adil olmadığını düşündüğünde işe olan bağlılığını kaybedebilir. “Prosedür adaleti” çalışma şartları, performans gibi öğeleri değerlendirirken uygulanan yöntemlerin ve politikaların adil olma

düzeyi olarak ifade edilmektedir. Prosedür adaleti daha çok örgüt boyutunda iken dağıtımsal adalet daha kişisel düzeyde sonuçlarla bağlantılıdır (Kılıçlar , 2011). “Etkileşim adaleti” ise yöneticilerin şirket içi kararlarda çalışanlarına karşı dürüst ve saygılı olması olarak tanımlanabilmektedir (Çetinkaya & Çimenci, 2014).

Bu çalışmada, örgütsel adalet algısının ve çalışanın maruz kaldığı mobbing uygulamalarının bireyin çalışmakta olduğu örgütten ayrılmasına ve işinden duyduğu tatmine, işine bağlılığına etkisi araştırılmaktadır. Bu amaçla Google Forms üzerinden anket oluşturularak farklı sektörlerde çalışan kişilere ulaşılmış, faktör analizi ile veriler beş boyuta indirgenmiş ve korelasyon analizi ile çeşitli çıkarımlarda bulunulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde örgütsel adalet algısı ile ilgili literatür araştırması sunulmuş, üçüncü bölümde yöntem ve bulgulara yer verilmiş ve dördüncü bölümünde sonuçlar yorumlanmıştır.

2. Yazın Taraması

Bu bölümde, çeşitli sektörlerde örgütsel adalet algısı ile ilgili yapılmış çalışmalara literatürden örnekler verilmiştir. Şahin ve Taşkaya (Şahin & Taşkaya, 2010), Adana'da faaliyet gösteren bir kamu hastanesi çalışanlarına yönelik araştırmalarında sağlık çalışanlarının örgütsel adalet anlayışları ve bunu etkileyen faktörlerin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada yapısal eşitlik modelinden faydalanılarak analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda örgüt içindeki adalet olgusunun kişilerin hizmet süreleri, aylık nöbet sayıları, eğitim düzeyleri, bakılan hasta sayısı ve yönetici olma durumu ile ilişkili olduğu görülmüştür. Kurum içinde ödül-ceza sisteminin adil uygulanması, yöneticilere verilecek sorumlulukların adil paylaşılması ve çalışanların karar verme süreçlerine katılımının artırılması ile örgütsel adalet algısının artırılacağı yönünde öneriler sunulmuştur. Çetinkaya ve Çimenci (Çetinkaya & Çimenci, 2014), yapısal eşitlik modellemesini kullanarak Afyonkarahisar'da faaliyetini sürdüren alışveriş merkezi işletmelerinde örgütsel adaletin üç boyutunun örgütsel vatandaşlık davranışının beş farklı boyutuna etkisini ve örgütsel özdeşleşmenin aracılık rolünü araştırmıştır. Veriler doğrultusunda, örgütsel adaletin artmasının örgütsel özdeşleşmeyi pozitif yönde anlamlı olarak etkilediği, örgütsel adalet ve örgütsel vatandaşlık davranışında örgütsel özdeşleşmenin tam aracılık rolüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, analiz sonuçları tartışılarak işletmelerde çalışma programlarının adil dağıtılması, objektif kararlar alınması, çalışan katılımının sağlanması, politikaların daha şeffaf ve açık olması ile örgütsel adaletin artırılacağı yönünde öneriler sunulmuştur. Özsungur (Özsungur, 2017), Adana ilinde bulunan 26 farklı işletmedeki insan kaynakları yöneticisini örneklem kabul ederek örgütsel adaleti analiz etmiştir. Buna göre etkileşim, mahrumiyet adaleti ve prosedürel adaletin insan kaynakları yöneticileri üzerindeki etkilerinin işletmedeki pozisyona, eğitim düzeyine ve cinsiyete göre farklılığı Anova ve korelasyon analizleri ile incelenmiştir. Analizlere göre eğitim düzeyi, cinsiyet ve işletmedeki pozisyon bakımından anlamlı fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Anova

testi orta düzeydeki yöneticiler için mahrumiyet algısının fazla olduğunu, üst düzey yöneticilerde prosedürel adalet algısının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yapılan bu tespitlere yönelik; farklı coğrafya ve kültürlerde örgütsel adalet algılarının araştırılması, işletme içi eğitimler ve yöneticilerin örgütsel adalet anlayışını geliştirecek uygulamalar yapılması gibi bazı önerilerle çalışma tamamlanmıştır. Yılmaz ve Doğan (2017), sağlık kurumlarında mobbing davranışının örgütsel adalet algısına etkisini araştırdığı çalışmada Bolu İzzet Baysal Eğitim ve Araştırma Hastanesi'ndeki 230 çalışana anket uygulamıştır. Sonuç olarak, örgütsel adalet algısının mobbing davranışına anlamlı etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca analizlerden, adalet algısında olumsuzluklar olduğu sonucu elde edilmiştir. Kurumda çalışanların adalet algılarını olumlu yönde geliştirmek için ödüllendirme sisteminin eşit olması, ücretlendirme, karar verme süreçlerine katılım ve çalışma saatlerinde düzenleme gibi uygulamalar ile çalışanlara adil yaklaşım sergilenmesi konusunun önemi vurgulanmıştır. Bağcı ve Demir (2017), Akdeniz Üniversitesi rektörlüğüne bağlı olarak çalışan 199 idari personele uyguladıkları anket ile rektörlük çalışanlarının iş tatminlerine örgütsel adalet algılarının etkisini araştırmıştır. Elde edilen veriler üzerinden regresyon ve korelasyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda; çalışanların iş tatmini üzerinde etkileşim ve prosedürel adaletin anlamlı etkisi görülürken dağıtım adaletinin anlamlı bir etkisi görülmemiştir. Analizlerin sunduğu bilgiler ışığında çalışanların karar verme süreçlerine katılımın artırılması, görev dağılımlarında ve terfilerde liyakate daha fazla önem gösterilmesi gerektiği ve motivasyon artırıcı çeşitli faaliyetlerde bulunmanın iş tatminini artırabileceği yönünde öneriler sunulmuştur. Bayarçelik ve Fındıklı (2017), İstanbul'da faaliyet göstermekte olan kamu ve özel banka çalışanları arasından 371 kişiye yaptıkları anket çalışmasında örgütsel adaletin banka çalışanlarının işten ayrılma eğilimlerine etkisini ve yapılan işin tatmin düzeyinin etkileşimdeki aracılık rolünü incelemiştir. Hiyerarşik regresyon analizinden elde edilen sonuçlar, işe olan tatmin düzeyinin dağıtımsal ve etkileşimsel adaletin işten ayrılma eğilimi üzerinde kısmi aracılık etkisi olduğunu göstermiştir. Çalışmada, dağıtımsal ve etkileşimsel adalet algısının artmasının çalışanların işten ayrılma niyetini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde yapılan birçok çalışmadan elde edilen sonuçlara paralel olarak, örgütsel adalet algısı yüksek olan çalışanların iş yapma performanslarının arttığı ve işten ayrılma eğilimlerinin azaldığı belirtilmiştir. Ertürk ve Erdirencelebi (2018), Konya'da faaliyet gösteren iki kamu bankasında çalışanların işyerindeki yalnızlığı ile işten tatmini ve bunların işten ayrılma niyetleri arasındaki ilişki boyutunu araştırmıştır. Yapılan korelasyon analizi, faktör analizi ve yapısal eşitlik modellemesine göre örgüt içinde yaşanan yalnızlığın işe duyulan tatmini azalttığı ve işten ayrılma sürecini tetiklediği sonuçlarına ulaşılmıştır. Örgüt içi iletişim kanallarının ve faaliyetlerin artırılması yönünde öneriler sunulmuştur. Etkin ödüllendirme sisteminin oluşturulması, liyakate dayalı terfi imkanlarının geliştirilmesi, iş birliğine önem verilmesi gibi konularla iş tatmininin artırılabilirliği ve bunun sonucunda işten ayrılma niyetinin azaltılabileceği ifade edilmiştir. Yılmaz ve Bilir Güler (2018), örgütsel vatandaşlık davranışına etkisi olduğu düşünülen örgütsel adalet algısını analiz etmek üzere bir aile şirketine çalışan 27 kişi ile görüşme yapmış, verileri betimsel analiz yöntemi ile analize tabii tutmuştur. Analizlere göre şirket çalışanlarının çoğunda örgütsel adalet algısının yüksek olduğu ve örgütsel vatandaşlık davranışı sergileme eğilimine yatkın olduğu görülmüştür. Örgütsel adaleti yetersiz bulan çalışanlar ise örgütsel vatandaşlık davranışı sergilemekte isteksiz olduklarını ifade etmiştir. Ulutaş (2018),

Konya'da faaliyet göstermekte olan 19 işletme çalışanına uyguladıkları anket ile çalışanların iş doyumu ve işten ayrılma ile örgütsel adalet algısı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Anketlerden elde edilen verilere regresyon, korelasyon ve faktör analizleri yapılmış; örgütsel adaletin dağıtımsal ve prosedürel boyutlarının iş tatmini ile arasında pozitif yönde anlamlı ilişki olduğu, işten ayrılma niyeti ile negatif yönde anlamlı ilişki olduğu görülmüştür. Çalışanların işten ayrılma eğilimlerinin azaltılabilmesi konusunda işletmelerde uygulanan ücret, terfi, ödüllendirme gibi konuların herkesçe algılanır ve uygulanabilir şekilde belirlenmesi konusuna vurgu yapılmıştır. İyidemirci ve Aydın (2018), Ankara Ostim Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren işletmelerde çalışan 110 kişilik örneklem grubu üzerinden çalışanların motivasyonu, örgütsel vatandaşlık davranışı ve işten ayrılma niyeti arasındaki ilişkileri incelemiştir. Analizler sonucunda motivasyon ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında pozitif ve anlamlı ilişki olduğu, motivasyon ve örgütsel vatandaşlık davranışı ile işten ayrılma niyeti arasında negatif ve anlamlı ilişki olduğu görülmüştür. Korelasyon sonuçları doğrultusunda, motivasyon seviyesi yüksek olan çalışanların görev ve sorumlulukları dışındaki işlerde işletmelere katkı sağlama eğilimine sahip oldukları yorumu yapılmıştır. Analizlere farklı boyutlar eklenerek genişletilmesinin ve bu yönde çalışmalar yapılmasının literatüre katkı sağlayacağı bildirilerek çalışma sonlandırılmıştır. Doğan (2018), Afyonkarahisar'da faaliyet gösteren beş yıldızlı termal otellerde 254 kişiye yaptıkları anket doğrultusunda örgütsel adaletin alt boyutlarının iş yapma performansına etkisini araştırmıştır. Korelasyon analizi ile iş performansı ile örgütsel adalet arasında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Farklı sektör ve işletmeler için benzer analizlerin yapılması önerilmiştir. Ercan, Kazançoğlu ve Küçükaltan (2019) telekomünikasyon sektöründeki satış temsilcileri ile yaptıkları mülakatlar ile çalışma şartlarının görece zor olduğu satış alanında iş stresi, iş tatmini, ödüllendirme konularının işten ayrılma ile ilişkisi incelemiştir. Veriler QSR-Nvivo programı ile incelenerek haritalandırılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre iş stresine en çok etkisi olan konuların yönetici unsuru, iş yükü ve hedef baskısı olduğu sonucuna varılmıştır. Ödüllendirme, ücret ve yan hakların iş tatmine etkisi tespit edilmiştir. Çalışmada örneklem uzayının az olması sebebi ile kapsam genişletilerek daha anlamlı sonuçlara ulaşılabileceği önerilmiştir. Akbaba (2019), turizm işletmelerinde çalışan toplam 294 kişilik örneklem üzerinden gerçekleştirdiği bir anket çalışmasında çalışanların yeşil örgütsel davranış üzerinde örgütsel adalet algısının etkisini araştırmıştır. Anketler üzerinden yapılan regresyon analizi sonucunda en düşük olarak algılanan örgütsel adalet boyutunun dağıtımsal adalet olduğu; bilgilendirme ve prosedürel adaletin ise en yüksek adalet boyutları olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca analiz sonuçlarında yeşil örgütsel davranışın örgütsel adaletten anlamlı düzeyde etkilendiği görülmüştür. Çalışanların örgütsel adalet anlayışlarının olumlu seviyede olduğu, yöneticilerin çalışanlara pozitif yaklaşım sergiledikleri, çalışanların ise inisiyatif olarak çevresel boyutlar kapsamında kâğıt, su ve enerji israfını engelleyici çalışmalara katılım gösterdikleri sonucuna ulaşılmıştır. Köksal ve Gürsoy (2019)'un çalışmasında özel bir işletmede 224 kişinin katılımı ile elde edilen veriler doğrultusunda istismarcı yönetim tutumunun işten ayrılmaya etkisi ve bu etkide örgütsel etik boyutlarının aracılığı incelenmiştir. Regresyon ve korelasyon analizleri ile hipotezler kurularak test edilmiştir. Analizlerden yöneticinin istismarcı davranışının çalışanların işten ayrılma düşüncesini artırdığı ve örgütsel etik kavramlarının işten ayrılmaya etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra örgütsel etik

ilkelerinin düşük olmasının istismara maruz kalan çalışanın işten ayrılma meylini artırdığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla işletmelerde istismarcı yöneticinin etkisini ve işten ayrılma niyetini düşürmek için örgütsel etik ilkelerinin güçlü olması gerektiği vurgusu yapılmıştır. Pehlivan Kurnaz ve Oruç (2019), tekstil sektöründe faaliyet gösteren işletme çalışanlarına yönelik yaptıkları çalışmada örgütsel adaletin iş tatmini ile olan ilişkisini incelemiştir. Toplam 112 kişiye ulaşılarak elde edilen anket yanıtları faktör analizi ile değerlendirilmiş ve örgütsel adalet boyutlarının birbiriyle ilişkisi bulunmuştur. Örgütsel adalet yaklaşımı ile iş tatmini arasında pozitif bir ilişki olduğu korelasyon analizi ile tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmadaki çalışanların üstlendikleri rollere göre örgütsel adalet boyutlarının değişebileceği belirtilirken eğitim düzeyi ile örgütsel adalet algısı arasında farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Yıldız ve Atilla (2019), Denizli ilinde faaliyet gösteren 191 termal otel çalışanına uyguladıkları anket ile çalışanların örgütsel adalet algılarının örgüte bağlılık düzeylerine etkisini araştırmıştır. Anket sonuçları regresyon, Anova ve korelasyon analizi ile incelenerek örgütsel bağlılığa örgütsel adalet algısının etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışanların örgütsel bağlılığını artırmanın iş performansına olumlu etki edip iş devri hızını düşüreceği bu nedenle örgütsel adalet algısının artırılmasının önemli olduğu ifade edilmiştir. Yılmaz (2019), elektrik sektörüne dair çalışmasında örgütsel bağlılığın ve örgütsel adalet algısının işten ayrılma düşüncesi ile ilişkisini 146 katılımcının dahil olduğu anket çalışması ile incelemiştir. Veriler SPSS paket programı ile korelasyon, regresyon ve faktör analizlerine tabii tutularak ilgili konuların işten ayrılmaya etkileri olduğu sonucuna varılmıştır. İşe bağlılığın artırılması için üst yönetimin yenilik akımlarına öncülük edilmesine dair öneriler sunulmuştur. Doğan, Aktemur, Uzgör ve Yeloğlu (2020), havacılık sektöründe çalışanlar üzerinde yaptıkları çalışmada iş tatmininin aracılık etkisini ve bu etki türünün, örgütsel adalet algısı ile işten ayrılma üzerindeki ilişkiye etkisini araştırmıştır. Toplam 154 kişiye uygulanan anket sonuçları analiz edilmiş, iş tatmininin örgütsel adaletin tüm alt boyutlarında işten ayrılmalarda negatif ve anlamlı tam aracılık etkisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışanlarda iş tatmininin artmasının işten ayrılmaları azalttığı sonucuna varılmıştır. Analiz sonuçlarına göre havacılık sektöründe çalışanların iş tatminlerini artırmaya yönelik öneriler sunulularak çalışma sonlandırılmıştır. Örucü, Korkmaz ve Kırboga (2020), örgütsel adalet algısının şirket içi vatandaşlık davranışına etkisinde örgüt kültürünün rolünü tespit etmek amacıyla Balıkesir ili Erdek ve Marmara ilçelerinde sağlık müdürlüğüne bağlı birimlerde çalışanlara anket uygulamıştır. Hiyerarşik regresyon analizi sonucunda örgüt kültürünün etkisi tespit edilerek örgütsel vatandaşlık davranışlarının artmasına yönelik ödül ve terfi süreçlerinin objektif konulara dayandırılması, çalışanların karar verme sürecine katılımı gibi öneriler sunulmuştur. Usta ve İrge (2020), çalışanların maruz kaldığı mobbingin örgütsel adalet algısına ve kişilerin işten ayrılma fikrine etkisinin araştırılması için 200 kişilik örnekleme anket uygulamıştır. Elde edilen veriler SPSS paket programı yardımı ile analize tabii tutularak etkilerin anlamlılık düzeyleri ölçülmüştür. Yapılan analizler doğrultusunda mobbing ile işten ayrılma arasında orta düzeyde pozitif yönlü ve anlamlı ilişki tespit edilirken örgütsel adalet ile mobbing arasında yine orta düzeyde ancak negatif yönlü ilişki olduğu sonucu bulunmuştur. Örneklemin artırılması ve araştırma kapsamının genişletilmesi önerileri sunulularak çalışma tamamlanmıştır.

3. Yöntem ve Bulgular

Çalışma kapsamında farklı sektörlerde çalışan 208 kişiye 8'li cinsiyet, medeni durum, eğitim düzeyi, yaş, iş deneyimi, çalışılan sektör ve gelir aralığı gibi kişisel bilgileri içeren toplam 59 anket sorusu yöneltilip örgütsel adalet anlayışının ve işyerinde maruz kalınan mobbingin iş tatmini ve işten ayrılma eğilimine etkisi araştırılmıştır. Araştırmada 5'li Likert ölçeği kullanılarak anket verileri katılımcılardan elektronik ortamdan temin edilmiştir. Anketin oluşturulma ve verilerin katılımcılardan temin edilme aşamasında Google Forms uygulaması kullanılmıştır. Anket soruları düzenlenirken aşağıdaki çalışmalar referans alınmıştır:

- Mobbingin ve örgütsel adaletin işe bağlılık ve işten ayrılmaya etkisi (Kaya, 2016),
- İşten yıldırma, stres ve tükenmişlik ile iş tatmini ve işten ayrılma arasındaki ilişki (Ülbeği, 2016),
- Örgütsel davranışların iş performansına ve işten ayrılma niyetine etkisi (Başaran, 2016),
- Çalışma kalitesi ile işten tatmini, örgüte bağlılık ve işten ayrılma niyeti arasındaki ilişki (Altay, 2018),
- Örgütsel adalet ve vatandaşlık davranışının çalışan performansına etkisi (Kantarcıoğlu, 2019).

Anket analizine aykırı değer analizi ile başlanmıştır. Buna göre ankette yer alan aykırı (uç) değerler tutarsızlık olmaması adına anket verilerinden çıkartılmıştır.

Ankete katılım sağlayan toplam 208 kişinin demografik bilgilerinin dağılımı Tablo 1'de yer almaktadır. Tablo 1'deki bilgilere göre katılımcıların %43,3'ü kadın, %56,7'si erkektir. %45,2 oranında Evli – Çocuklu kişiler ve %57,7 ile lisans mezunları çoğunluğu oluşturmaktadır.

Tablo 2'de ankette yer alan sorulara dair Faktör Analizi (FA) sonuçları yer almaktadır. Anketteki 51 sorunun analizini kolaylaştırma adına değişken sayısının azaltılması hedeflenmiştir. Aralarında ilişki bulunan soruları belirlemek ve değişken (boyut) indirgemek için FA yapılmıştır. Tablo 2'ye göre 1. faktörde 14 madde yer almakta olup faktör yükleri 0,592 ile 0,829 arasında değişkenlik göstermektedir. S1-S14 aralığındaki tüm maddeler 1. faktörde yer almaktadır. Benzer yorumlar diğer faktörler için tabloda görülmektedir. 3 veya daha az maddenin bir boyutta elimine edilerek 5 soru FA'dan çıkartılmış ve kalan 46 soru Tablo 2'de yer aldığı üzere 5 faktöre (boyut) indirgenmiştir. Boyutların belirlenmesi aşamasında faktör yüklerinin 0,30 değerinden yüksek olması ve dağılım gösterdiği yükler arasındaki farkın 0,10 değerinden yüksek olması kabulüne göre boyutlandırma yapılmıştır (Büyüköztürk, 2019). Dolayısıyla Tablo 2'de birden fazla faktöre dağılan konular arasında anlamlı farklılık olmadığı için (dağılan boyutlar arası farklılık 0,10 değerinden büyük olmaması) ilgili maddeler analizden çıkartılmamıştır. FA yapılırken sıkıştırma metodu olarak temel bileşenler analizi (Extraction Method: Principal Component Analysis), döndürme metodu olarak Oblimin yöntemi (Rotation Method: Oblimin with Kaiser Normalization) kullanılmıştır. Bu 5 faktörün değişkenliği açıklama oranı %49,5 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Araştırmaya Katılan Kişilerin Demografik Bilgileri

Demografik Özellikler	Sıklık	Yüzde	Demografik Özellikler	Sıklık	Yüzde
<i>Cinsiyet</i>			<i>Tecrübe – Mevcut İşyeri</i>		
Kadın	90	43,3	Çalışmıyorum	13	6,3
Erkek	118	56,7	0-3 arası	93	44,7
<i>Medeni Durum</i>			4-6 arası	52	25,0
Bekar	73	35,1	7-11 arası	32	15,4
Evli	41	19,7	12-15 arası	5	2,4
Evli - Çocuklu	94	45,2	15 üzeri	13	6,3
<i>Eğitim Düzeyi</i>			<i>Tecrübe - Toplam</i>		
Önlisans	23	11,1	Çalışmıyorum	5	2,4
Lisans	120	57,7	0-3 arası	24	11,5
Lisans Üstü	65	31,3	4-6 arası	65	31,3
<i>Yaş</i>			7-11 arası	63	30,3
18-24	12	5,8	12-15 arası	16	7,7
35-30	63	30,3	15 üzeri	35	16,8
31-35	59	28,4	<i>Sektör</i>		
36-40	36	17,3	Otomotiv - Ana Sanayi	14	6,7
41-50	29	13,9	Otomotiv - Tedarikçi	61	29,3
50 üzeri	9	4,3	Sağlık ve Sosyal Hizmetler	18	8,7
<i>Gelir</i>			Kamu	16	7,7
3.000-4.500	63	30,3	İnşaat, Yapı	17	8,2
4.501-6.000	51	24,5	Danışmanlık	11	5,3
6.001-8.000	39	18,8	Diğer	71	34,1
8.001-10.000	21	10,1			
10.000 üzeri	34	16,3			
<i>Toplam</i>	208	100	<i>Toplam</i>	208	100

Tablo 2. Faktör Analizi Sonuçları

Faktör	Soru Aralığı	Soru Sayısı	En Düşük Faktör Yüğü	En Yüksek Faktör Yüğü
1	S1- S14	14	0,592	0,829
2	S15-S19	5	0,404	0,602
3	S20-S32	12	0,473	0,701
4	S33-S44	10	0,372	0,750
5	S45-S51	5	0,353	0,780

Tablo 3'te Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Barlett testi sonuçları paylaşılmıştır. Örneklem yeterlilik değeri 0,869 olarak hesaplanmıştır. Bu değerin 0,70'in üzerinde olması testin güvenilir olduğunu göstermektedir. Küresellik testinde p değerinin 0,05'in altında olması sebebiyle elde edilen güvenilirlik değeri anlamlı olarak yorumlanmaktadır. Anket verilerinden elde edilen bilgilerin güvenilirliği Cronbach Alfa Katsayısı yöntemi ile test edilerek analiz edilmiştir. Cronbach Alfa (CA) değerinin 0,50'nin altında olması ölçeğin güvenilirliğinin düşük olduğunu ve yeniden düzenlenmesi gerektiğini ifade etmektedir. 0,50-0,60 aralığında olması düşük güvenilirliği, 0,60-0,70 aralığında olması yeterli güvenilirliği, 0,70-0,90 aralığında olması ölçeğin yüksek güvenilirliğe sahip olduğunu ve güvenle kullanılabileceğini belirtmektedir. 0,90 üzerindeki değerler ise ölçeğin çok yüksek güvenilir seviyesinde olduğunu göstermektedir (Özdamar, 2019).

Tablo 3. KMO ve Barlett Test Sonuçları

Kaiser-Meyer-Olkin Örneklem Yeterlilik Testi	0,869	
Bartlett Küresellik Testi	Yaklaşık Ki-Kare (χ^2)	5075,26
	Serbestlik Derecesi	1035
	p	0,000

Tablo 4'te yer alan verilere göre, soru sayısı az olan Örgütsel Vatandaşlık Davranışı (ÖVD) boyutu için bulunan CA değeri düşük güvenilirliği ve İşten Ayrılma (İA) boyutu için bulunan değer ise yeterli güvenilirliği ifade etmektedir. Örgütsel Adalet (ÖA),

Mobbing (MB), İş Tatmini (İT) boyutu ve anketin tamamı için bu değer 0,70'ten büyük olduğu için ölçeğin yüksek güvenilirliğe sahip olduğu yorumu yapılabilir. Tüm değişkenler FA ile 5 boyuta indirgenerek ölçeklerin güvenilir olduğu hesaplanmıştır. Araştırmaya konu olan bu boyutlar arasında varsa ilişkilerin anlaşılması ve yorumlanabilmesi için Pearson Korelasyon (PK) Analizi yapılmıştır.

Tablo 4. Anket Güvenilirlik İstatistikleri

Boyut	Açıklama	CA	Soru Sayısı
Boyut 1	Örgütsel Adalet	0,935	14
Boyut 2	Örgütsel Vatandaşlık Davranışı	0,510	5
Boyut 3	Mobbing	0,867	12
Boyut 4	İş Tatmini	0,855	10
Boyut 5	İşten Ayrılma	0,647	5
Anket	-	0,783	46

Tablo 5, belirlenen 5 faktörün birbirleri ile ilişkisini göstermektedir. PK satırı ilişkinin düzeyini ifade ederken p satırı ise ilişkinin istatistiki olarak anlamlılığını ifade etmektedir. İlişkinin anlamlı olması için p değerinin 0,05'ten küçük olması gerekmektedir (Özdamar, 2019). Tablo 5'e göre, örgütsel adalet ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında 0,21 düzeyinde pozitif anlamlı ilişki bulunduğu görülmektedir. Benzer olarak örgütsel adalet ile mobbing arasında 0,45 oranında negatif yönde anlamlı ilişki tespit edilmiştir. Dolayısıyla Tablo 5'te yer alan verilere göre; bireylerin örgütsel adalet algısının artmasının maruz kaldıkları mobbingin azalması ile 0,45 oranında ilişkili olduğu yorumu yapılabilir. Araştırmanın konularından biri olan örgütsel adaletin iş tatmini ile ilişkisi de 0,46 oranında pozitif yönlü olarak bulunmuştur; örgütsel adalet algısının artmasının iş tatminine pozitif yönde anlamlı etkisi olduğu görülmektedir. Tablo 5'te mobbingin işten ayrılmaya 0,16 oranında etkisi olduğu görülmektedir. Bireylerin mobbinge maruz kalmaları işten ayrılmalarına anlamlı olarak etki ettiği sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra mobbinge maruz kalan bireylerin iş tatmininin 0,48 oranında negatif yönlü etkilendiği sonucu Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. Boyutlar (Faktörler) Arası Korelasyon Analizi

Boyut		ÖA	ÖVD	MB	İT	İA
ÖA	PK	1	,21**	-,45**	,46**	-0,02
	p		0,00	0,00	0,00	0,73
ÖVD	PK		1	-0,01	0,13	0,06
	p			0,94	0,06	0,37
MB	PK			1	-,48**	,16**
	p				0,00	0,02
İT	PK				1	-0,12
	p					0,10
İA	PK					1
	p					

Anket çalışmasında yanıtlayıcılara 59 soruya ilaveten çoklu cevap verebilecekleri işten ayrılma nedenleri sorularak

yanıtlamaları istenmiştir. Çoklu yanıtlama analizi ile kişilerin işten ayrılmalarına sebep olan veya olabilecek nedenleri seçmeleri istenmiştir.

Bireylerin işten ayrılmalarına sebep olabilecek konular Tablo 6'da özetlenmiştir. Buna göre tekil etkisi en yüksek olan konunun %10,1 ile örgütsel adaletin etkileşimsel boyutunun ilgi alanı olan yöneticinin tutumu olduğu görülmektedir. Bireylerin işten ayrılmalarında yöneticilerin direkt etkisinin yanında mevcut işte memnuniyetsizliğe sebep olacağı dolaylı etki ile bu oran daha yüksek olacaktır. Bu durum, etkileşimsel adalet algısının kişilerin iş tatminine ve işten ayrılmaya etkisinin önemini göstermektedir. Yöneticinin tutumunu sırasıyla örgütsel adaletin dağıtımsal ve prosedürel boyutlarında yer alan ücret ve şirket içi adalet başlıkları izlemektedir. Tablo 6'da yer alan alt sebepler 4 başlıkta özetlendiğinde işten ayrılmalarda en yüksek orana sahip olan mevcut işten duyulan memnuniyetsizlik, toplam cevapların %62,2'sini oluşturmaktadır. Bireylerin mevcut işteki memnuniyetsizliğini azaltmak ve iş tatminini artırmak için işletme yöneticileri, örgütsel adalet algısını iyileştirmeye yönelik politikalar geliştirmenin yanı sıra bireylere gelişim imkânı sağlamaya, ekip içi dengelerin ve uyumluluğun sağlanmasına yönelik geliştirici faaliyetler gerçekleştirmeleri çalışan devir hızını düşürme yönünde önemli adımlar olacaktır. Bireylere dış firmalarca sunulan kariyer ve diğer imkanların işten ayrılma eğilimine etkisi %20,2 olarak tespit edilmiştir. İşletme içi kariyer fırsatlarının ve çalışma şartlarının iyileştirilmesine yönelik çalıştaylar, seminerler ve benchmark faaliyetleri iş tatminini artırarak işten ayrılma niyetini azaltabilir. Özel sebeplerden dolayı işten ayrılmaların etkisi %9,3 oranında iken mücbir sebepler başlığında işten ayrılmanın etkisi %8,3 oranındadır. Mevcut işteki politikaların ve kariyer fırsatlarının geliştirilmesinin yanında çalışanların kişisel sorunlarına çözüm bulmaya yönelik faaliyetler işten ayrılma eğilimini azaltarak iş tatminini artıracak konular arasında yer almaktadır.

4. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, bireylerin örgütlerde maruz kaldığı mobbing uygulamalarının ve örgüt içi adalet algısının işten ayrılma niyetine ve iş tatminine olan etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda Google Forms aracılığı ile hazırlanan anket soruları online olarak katılımcıların kullanımına sunulurken 208 kişiden veri toplanmıştır. Elde edilen bu veriler IBM SPSS 25.0 paket programı yardımıyla çeşitli analizlere tabi tutulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre örgütsel adalet algısında yaşanan artışın iş tatminine pozitif yönde etkilediği ve bu etkinin de istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ulutaş (2018), Pehlivan Kurnaz ve Oruç (2019) çalışmalarında örgütsel adaletin iş tatminine pozitif etkisini tespit etmişlerdir. Bağcı ve Demir (2017) örgütsel adalet boyutlarının iş tatminine etkisini araştırdığı çalışmada araştırma sonucuna paralel tespitler elde etmişlerdir. Çalışmada örgütsel adalet ile maruz kalınan mobbing arasında negatif yönlü anlamlı ilişki olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bireylerin maruz kaldığı mobbing uygulamalarının örgütsel adalet algısına olumsuz etkisi olduğu söylenebilir. Usta ve İrge (2020) çalışmalarında örgütsel adalet ile mobbing arasında negatif yönlü ilişki sonucuna ulaşmışlardır.

Tablo 6. İşten Ayrılma Alt Sebepleri Oranları

Sebepler	İşten Ayrılma Alt Sebepleri	Cevap Sayısı	Yüzde	Toplam Yüzde
Mevcut İşten Tatminsizlik	Yöneticinin tutumu	181	%10,1	%62,2
	Ücretin düşük olması	162	%9,1	
	Şirket içi adil olmayan ücret ve terfi yaklaşımı	154	%8,6	
	Gelişim imkanlarının yetersiz olması	132	%7,4	
	Terfi imkanlarının yetersizliği	125	%7,0	
	Stres seviyesi ve yoğunluğun fazla olması	135	%7,6	
	Ekip içi uyumsuzluklar	123	%6,9	
	Yapılan işin değersiz hissettirmesi	102	%5,7	
Yeni Fırsatlar	Yeni işin sunduğu yüksek ücret	142	%8,0	%20,2
	Yeni işin sunduğu kariyer fırsatı (yöneticilik - müdürlük vb)	121	%6,8	
	Yeni işin sunduğu esnek çalışma fırsatları	94	%5,3	
Özel Sebepler	İşyerine ulaşım problemi	68	%3,8	%9,3
	İşyerine / şehre uyum sorunu	34	%1,9	
	Şirketin dünya görüşü ile uyumsuzluğu	62	%3,5	
Zaruri Sebepler	Evlilik / sağlık / ailevi durumlar	59	%3,3	%8,3
	Kendi işini yapacak olmak	55	%3,1	
	Karşılıklı fesih anlaşması (işten çıkartılma - emeklilik vs)	37	%2,1	
Toplam		1.786	%100	

Yapılan analizler sonucunda bireylerin maruz kaldıkları mobbingin artmasının işten ayrılma eğilimini artırdığı ve iş tatminini 0,48 oranında negatif yönde etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır. Korelasyon analizleri ile bahsi geçen ilişkilerin istatistiksel açıdan anlamlı oldukları tespit edilmiştir. Yılmaz (2019) araştırmasında örgütsel adalet algısının işten ayrılmaya etkisi olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Elde edilen bu sonuçlara göre şirket yöneticilerinin, çalışanların örgütsel adalet algısını ve iş tatmininin artırılması yönünde faaliyetlere önem vererek çalışanların işten ayrılma eğilimlerini azaltabilecekleri görülmektedir. Şirket içindeki ücret, terfi ve ödül gibi dağıtımsal adalet politikalarının yanında tüm örgütsel adalet boyutlarının standartlarla yönetilmesi çalışanların örgütsel adalet algısını artırmaya yönelik bir faaliyet olacaktır. Bunun yanı sıra yönetici tutumlarının ve mobbing uygulayan kişilerin davranışları analiz edilerek uygun olmayan davranışların altında yatan gerekçelerin çözülmesi çalışanların maruz kaldıkları mobbing uygulamalarının azalmasını sağlayarak iş tatminini artırıp işten ayrılma eğilimini azaltacaktır. Firma içindeki yeni kariyer olanaklarının ve çalışma şartlarının iyileştirilmesi için sektördeki firmalara dair yapılacak çalıştay ve analizler çalışanların iş tatminini artırarak işten ayrılma eğilimini azaltacak diğer faaliyetler arasındadır. Bireylerin yaşadığı kişisel sorunların çözümüne yönelik klinik destek sağlanması, başarısızlık durumlarında yeteneklerinin gözden geçirilerek uygun işe yönlendirilmesi ve işe uygunluk adına yetenek gelişiminin sağlanması yine işten ayrılmaları azaltacak faktörler arasındadır.

Çalışmaya konu olan araştırma farklı sektörlerde çalışanlara yönelik yapılmıştır. Çalışmanın kapsamı belirli bir organize sanayi bölgesindeki firmalarla sınırlandırılabilir gibi aynı e-ISSN: 2148-2683

sektörde faaliyet gösteren şirketlere yönelik de yapılarak analiz edilebilir. Bu durumda bölgenin veya sektörün kendi dinamiğinin etkisi ortadan kaldırılmış olacaktır. Bunun yanı sıra çalışma, belirli bir firma özelinde indirgenip işten çıkış mülakatlarında sorulara yanıtlar alınarak şirket içi örgütsel adalet algısı, mobbing ve bunların iş tatmini ile işten çıkış eğilimine etkisi araştırılabilir. Elde edilen bilgiler analizler edilip firma özelinde somut önlemlerle örgütsel adalet algısı ve işe bağlılık artırılıp mobbing uygulamaları ve işten ayrılmalar azaltılarak firmanın kurumsallaşmasına katkı sağlanacağı gibi işgücü kaybının azaltılması ile milli servetin etkin kullanımına da katkı sağlanmış olacaktır.

Kaynakça

- Akbaba, M. (2019). Örgütsel Adalet İşgörenlerin Yeşil Örgütsel Davranışını Etkiler Mi? *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(2), 641-660.
- Altay, M. (2018). Çalışma Yaşam Kalitesinin İş Tatmini, Örgütsel Bağlılık ve İşten Ayrılma Niyeti ile İlişkisinde İş Yükü ve Lider-Üye Etkileşiminin Rolü. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Bağcı, Z., & Demir, G. (2017). Örgütlerde Adalet Algısının İş Tatmini Üzerine Etkisi: Akdeniz Üniversitesi İdari Personeli Üzerinde Bir Araştırma. *Manas Journal of Social Studies*, 6(4), 343-357.
- Başaran, R. (2016). Çalışanların Örgütsel Tutum ve Davranışlarının İş Performansı ve İşten Ayrılma Niyeti Üzerine Etkisi: Psikolojik Sözleşmelerin Aracılık Rolü. İstanbul: Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Bayarçelik, E. B., & Fındıklı, M. (2017). İş Tatmininin, Örgütsel Adalet ve İşten Ayrılma Niyeti İlişkisindeki Aracılık Rolü. *Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 16-31.
- Büyükköztürk, Ş. (2019). *Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı* (26 b.). Ankara: Pegem Akademi.
- Çetinkaya, M., & Çimenci, S. (2014). Örgütsel Adalet Algısının Örgütsel Vatandaşlık Davranışı Üzerindeki Etkisi ve Örgütsel Özdeşleşmenin Aracılık Rolü: Yapısal Eşitlik Modeli Çalışması. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 12(23), 237-278.
- Doğan, H. (2018). Örgütsel Adalet Algısı ile İş Performansı Arasındaki İlişki. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(8), 26-46.
- Doğan, Ü., Aktemur, Ş., Uzgör, M., & Yeloğlu, H. (2020). Türkiye’de Havacılık Sektörü Çalışanlarında Örgütsel Adaletin İşten Ayrılma Niyetine Etkisinde İş Tatmininin Aracılık Rolü: Kesitsel Bir Araştırma. *Journal of Aviation Research*, 2(1), 26-44.
- Ercan, A., Kazançoğlu, İ., & Küçükaltan, B. (2019). İş Stresi, İş Tatmini, Örgütsel Kıvanç ve İşten Ayrılma Niyeti Etkileşiminin İş Performansı ile İlişkisi. *Journal of Yasar University*, 19, 101-114.
- Ertürk, A. (2013). Yıldırma Davranışları, Nedenleri ve Sonuçları. *Bartın Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2(1), 146-169.
- Ertürk, E., & Erdirencelebi, M. (2018). Çalışanların Örgütsel Yalnızlık Algısının İş Tatmini ve İşten Ayrılma Niyeti Üzerine Etkileri. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 17(2), 603-618.
- İyidemirci, H., & Aydın, B. (2018). Motivasyon, Örgütsel Vatandaşlık Davranışı ve İşten Ayrılma Niyeti Arasındaki İlişkinin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma; Ostim Organize Sanayi Bölgesi Örneği. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 4(3), 131-144.
- Kantarcioglu, N. (2019). Örgütsel Adalet ve Örgütsel Vatandaşlık Davranışının İşgören Performansına Etkisi: Ankara’daki Kobilerde Bir Araştırma. İstanbul: İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kaya, N. (2016). Mobbingin Örgütsel Adalet Algısı ve Örgütsel Bağlılık İlişkisi ile Çalışanların İş Performansına ve İşten Ayrılma Niyetine Etkisi. Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul: Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kılıçlar, A. (2011). Yöneticiye Duyulan Güven ile Örgütsel Adalet ilişkisinin Öğretmenler Açısından İncelenmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 3(3), 23-36.
- Köksal, K., & Gürsoy, A. (2019). İstismarcı Yönetimin İşten Ayrılma Niyetine Etkisinde Örgütsel Etik İlkelerin Düzenleyici ve Aracı Rolü. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(2), 347-366.
- Örücü, E., Korkmaz, E., & Kırboğa, R. (2020). Örgütsel Adalet Algısının Örgütsel Vatandaşlık Davranışına Etkisinde Örgüt Kültürünün Rolü. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 16(1), 197-218.
- Özdamar, K. (2019). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi* (11 b., Cilt 1). Eskişehir: Nisan Kitabevi.
- Özsungur, F. (2017). İnsan Kaynakları Yöneticilerinin Örgütsel Adalet Algıları Üzerine Ampirik Bir Çalışma. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(5), 2574-2593.
- Pehlivan Kurnaz, İ., & Oruç, İ. (2019). Örgütsel Adalet ve İş Tatmini Arasındaki İlişkinin İncelenmesi Üzerine Uygulamalı Bir Araştırma. *Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(3), 375-390.
- Şahin, B., & Taşkaya, S. (2010). Sağlık Çalışanlarının Örgütsel Adalet Algılarını Etkileyen Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli ile İncelenmesi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 3(2), 85-114.
- Tetik, S. (2012). Kamu İşletmelerinde Çalışanların Örgütsel Adalet Algılarının Bazı Demografik Özellikler Açısından İncelenmesi. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(1), 239-249.
- Tutar, H. (2015). *Mobbing Nedenleri ve Başa Çıkma Stratejileri: Kuramsal Yaklaşım*. Ankara: Detay Yayıncılık.
- Türk Dil Kurumu. (2020, Aralık 30). <https://sozluk.gov.tr>
- Ulutaş, M. (2018). Örgütsel Adalet Algısının Çalışanların İş Doyumu ve İşten Ayrılma Eğilimine Etkisi. *Manas Journal of Social Studies*, 7(2), 333-352.
- Uslu, S., & Aktaş, H. (2017). İşten Ayrılma Niyeti İle Örgütsel Sessizlik Etkileşiminde İş Güvencesi Memnuniyeti ve İş Güvencesi Endeksinin Aracı Rolü: Özel Bir Hastane Çalışanları Üzerinde Bir Araştırma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İBF Dergisi*, 12(1), 141-160.
- Usta, F. N., & İrge, N. T. (2020). Mobbingin Örgütsel Adalet Algısı Ve İşten Ayrılma Niyeti Üzerine Etkisi: Bir Emlak Konut Şirketi Örneği. *Research Studies Anatolia Journal*, 3(3), 237-249.
- Ülbeği, İ. D. (2016). Yıldırma, İş Stresi, Tükenmişlik, İş Tatmini ve İşten Ayrılma Niyeti Arasındaki İlişkiler: Görgül Bir Araştırma. Adana: Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ünler, E., & Gürel, H. (2015). *Örgütsel Adaletin Peşinde*. İstanbul: Beta Basım Yayım.
- Yıldız, A., & Atilla, G. (2019). Örgütsel Adalet Algısının Örgütsel Bağlılık Düzeyine Etkisi: Otel Çalışanları Üzerinde Bir Araştırma. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(19), 39-64.
- Yılmaz, A. C., & Bilir Güler, S. (2018). Örgütsel Adalet Ve Örgütsel Vatandaşlık Davranışı Arasındaki İlişkinin Anlamlandırılması: Bir Aile İşletmesinde Nitel Araştırma. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 36-52.
- Yılmaz, B. (2019). Örgütsel Bağlılık Ve Örgütsel Adaletin İşten Ayrılma Niyetine Etkileri Üzerine Bir Araştırma: Elektrik Sektöründe Bir Uygulama. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(1), 181-202.
- Yılmaz, M., & Doğan, S. (2017). Sağlık Kurumlarında Örgütsel Adalet Algısının Mobbing Davranışları Üzerine Etkisi: Bolu’da Bir Uygulama. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 67-94.



Performance Test of GTA 5 Game with MSI Afterburner

Fatma Nur Canoğlu^{1*}, Mahmut Melikşah Doğan², Mehmet Özel³, Oğuzhan Şengüler⁴, Fatih Başçiftçi⁵

^{1*} Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1357-0419), fatmanurcanoglu@gmail.com

² Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2623-0130), meliksahdogan02@gmail.com

³ Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6924-7904), mehmet.ozel@gmail.com

⁴ Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0979-1166), oguzhansenguler@gmail.com

⁵ Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Information Technology Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1679-7416), basciftci@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.992188)

ATIF/REFERENCE: Canoğlu F.N., Doğan M.M., Özel M., Şengüller O., Başçiftçi F. (2021). Performance Test of GTA 5 Game with MSI Afterburner. *European Journal of Science and Technology*, (28), 172-177.

Abstract

In the technology universe, change has emerged with development. The reason for this change can be shown as applications and software that force technology, but it can also be caused by other games that offer more dynamic and realistic environments. The game industry has a great place in the technology world. They come together from various regions of the world and play games together. The innovations in the developing game industry cause various innovations in the computer hardware world. High bandwidth internet, main card, and processors with high data paths, self-controlling, and high surveillance cards are examples. While the latest models, new models in the technology market, new versions in the technology market, while transferring to new systems in the state-of-the-art market. With its different performance and prices, it also includes optimization differences. As in any other benchmarking comparison that is faced with benchmarking in terms of the differences it lives in. With the application opening, the process is started by selecting the game word to be the visual settings level. They are produced by testing on different systems, they are the average FPS values obtained during the test. The benchmarks aim to ensure that the systems make the right decision by indicating the good and the bad sides of each other. Although the user chooses according to these comparisons, they test them on their systems. A vital value for the game world, the "FPS" (Frames Per Second) value represents the biggest cutthroat for writing. In this test, the "FPS" comparison is made by trying different technologies on the same game. The test results are ranked by determining the scores. The characteristic of the scores is that they are based on the test average FPS value.

Keywords: Game performance test, computer game, FPS test.

MSI Afterburner ile GTA 5 Oyununun Performans Testi

Öz

Teknoloji evreninde değişim, gelişim ile birlikte ortaya çıkmıştır. Bu değişimin sebebi, teknolojiyi zorlayan uygulamalar ve yazılımlar olarak gösterilebilir ancak diğer taraftan da kullanıcılara daha dinamik ve gerçekçi ortamlar sunan oyunlardan da kaynaklanabilmektedir. Teknoloji dünyasında oyun sektörünün yeri çok büyüktür. Dünya'nın çeşitli bölgelerinden oyuncular, aynı ortamda bir araya gelerek beraber oyun oynamaktadırlar. Gelişen oyun sektöründeki yenilikler bilgisayar donanım dünyasında da çeşitli yeniliklere sebep olmaktadır. Bant genişliği yüksek internet, yüksek veri yollarına sahip ana kart ve işlemciler, kendini kontrol edebilen ve yüksek performanslı ekran kartları bunlara örnektir. Gelişen sistemler zaman içerisinde yerlerini yeni sistemlere bırakırken, son nesil olarak adlandırılan en yeni modeller, teknoloji pazarında büyük yer bulmaktadır. Her birinin farklı performans ve fiyatları olmasıyla beraber aynı zamanda da optimizasyon farklarını da içinde barındırmaktadır. İçinde barındırdığı farklar bakımından yüzlerce hatta binlerce kıyaslama ile karşı karşıya kalan kullanıcılar, soluğu benchmark kıyaslamasında almaktadır. Uygulama açılımı ile birlikte oyun

içerisinde görsel ayarlar maksimum düzey olacak şekilde seçilerek değerlendirme işlemine başlanmış olur. Farklı sistemler üzerinde test edilerek ortaya çıkan skorlar, test süresince elde edilen ortalama FPS (Frame Per Second) değerlerinin kendisidir. Kıyaslamalar sistemlerin birbirlerine göre iyi ve kötü yanlarını belirterek doğru karar vermelerini sağlamayı amaçlamaktadır. Kullanıcılar her ne kadar bu kıyaslamalara göre tercih yapsalar da aldıkları ürünün kendi sistemlerinde çalışmasını kendilerince test etmektedirler. Oyun dünyası için hayati bir değer olan “FPS” (Frame Per Second) değeri, kullanıcılar için en büyük kıyası ifade etmektedir. Bu çalışmamızda, aynı oyun üzerinde farklı teknolojik ürünleri deneyerek “FPS” kıyaslaması yapılmaktadır. Test sonuçları skorlar üzerinden belirlenerek sıralanmıştır. Skorların özelliği, test süresince ortaya çıkan ortalama FPS değerini baz almaktadır. Gelişen sistemler zaman içerisinde yerlerini yeni sistemlere bırakırken, son nesil olarak adlandırılan en yeni modeller, teknoloji pazarında büyük yer bulmaktadır. Her birinin farklı performans ve fiyatları olmasıyla beraber aynı zamanda da optimizasyon farklarını da içinde barındırmaktadır. İçinde barındırdığı farklar bakımından yüzlerce hatta binlerce kıyaslama ile karşı karşıya kalan kullanıcılar, soluğu benchmark kıyaslamasında almaktadır. Uygulama açılımı ile birlikte oyun içerisinde görsel ayarlar maksimum düzey olacak şekilde seçilerek değerlendirme işlemine başlanmış olur. Farklı sistemler üzerinde test edilerek ortaya çıkan skorlar, test süresince elde edilen ortalama FPS (Frame Per Second) değerlerinin kendisidir. Bu çalışmamızda, aynı oyun üzerinde farklı teknolojik ürünleri deneyerek “FPS” kıyaslaması yapılmaktadır. Test sonuçları skorlar üzerinden belirlenerek sıralanmıştır. Skorların özelliği, test süresince ortaya çıkan ortalama FPS değerini baz almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Oyun performans test, bilgisayar oyunu, FPS testi.

1. Introduction

Comparing the results of usage metrics for a computer test is called a computer performance appraisal test. When evaluating performance, computer programs are performed by running along with other processes along with program sequences. Many standardized tests and trials are conducted to improve the relative performance of objects. Computer performance evaluation tests provide methods for comparing the performance of various subsystems in different system architectures.

If a system whose performance will be measured in performance evaluation tests disrupts its functioning, it can make incorrect measurements. For this reason, the functioning should not be disrupted, and the results should be reproducible. Outputs in a measuring system should be interpreted by appropriate statistical methods and made comprehensively consistent [1]. Computer performance assessment tests are programs that investigate the performance of computers and affect the way systems operate. The speed, size, and presentation of the computer system are evaluated and measured by interpretation [2]. Computer performance evaluation tests are used to evaluate the computer piecemeal and piecemeal. Each of its parts affects performance and can be examined separately.

The development of computer games is progressing rapidly with the technology of our age. Thus, computers become widespread and bring their development. As the computing and graphics capabilities of computers increase, the features of computer games also improve, increasing the number of players and companies interested in games. For this reason, many quality games are emerging [3].

Computer games often run on platforms with a variety of processing and display capabilities. A single game title can be published simultaneously on computers, consoles, and handheld devices. Even games released only for computers have significant processing power and video card capabilities [4]. FPS (Frames per second) speed and resolution are the basis for the performance of games. Generally, a higher FPS speed allows for smoother gameplay than a lower FPS speed. FPS speed and resolution may be limited by computer gaming software such as hardware graphics cards or processors [5].

As part of this study, 4 computers were tested in total with the MSI Afterburner test program and the GTA 5 game as a performance evaluation test, and the FPS values of the computers

were tested. MSI-developed Afterburner is the most popular video card overclocking tool in overclocking competitions around the world [6]. MSI Afterburner has the best testing conditions in the FPS testing market. It was chosen because it was also ahead of applications such as Fraps and Nvidia Shadowplay. MSI Afterburner is a program that is widely used in the world and provides the control of the most known video cards.

FPS is a unit that helps measure the performance of the display device. On the display screen, the number of full-frame scans that occur every second is shown as the FPS value. The results of the same game and test program on four different computers were examined.

2. Literature Review

In the studies carried out, the subject of performance testing for the prototype game of children with attention deficit was explained. It was intended to develop and create a prototype game that could be used to improve children's working memory. CPU usage and average FPS and image memory usage for performance testing were tested in several browsers and determined that the game was good enough to be played on computers [5].

Studies have been conducted on effective sampling-oriented performance tools for GPU (GPU) accelerated supercomputers. This paper describes how to extend performance analysis methods to system-wide gpu accelerated systems [7].

GVirtuS known as service virtualization, graphics using GPU-accelerated for NVIDIA CUDA, Nvidia, so put forth by the computer processing that great impact on performance of a parallel programming gaming anywhere with cloud gaming platform named source research on a thesis on the analysis of system performance measurements. In this study, GPU virtualization was focused on and it was observed that accelerating this unit using NVIDIA CUDA is the key to better performance when using GamingAnywhere [8].

In the research, a new perspective was used to describe the findings of the game according to the camera position and camera usage. It has been observed that frame rate has a much greater effect on the user than resolution in all game perspectives and game movements [9].

A study was conducted on the application of combinatorial tests in Video game tests, and in this study, the application of combinatorial testing, especially involving sequences, was discussed for testing games. Combinatorial testing is an

experimental design method used to create test scenarios and is primarily used for commercial software testing [10].

An article on automated video game testing using synthetic and human-like intermediaries has been investigated. In this paper, it has been observed that agents can successfully test unexplored levels. The success of human-like and synthetic agents in finding errors was compared and the similarities between human testers were evaluated [11].

A study of user satisfaction measurement in mobile cloud games was examined. A mobile cloud gaming system based on GamingAnywhere is available. Their experience of porting a cloud gaming client to Android, which also applies to other mobile operating systems, has been shared [12].

In a study of visual analysis of game frame rate data, a comprehensive visual analysis system, FPSSeer, is presented to help game designers gain insight into frame rate data. The system has been applied to an online commercial game to monitor its performance and provide feedback to designers and developers [13].

The study examined the network performance analysis of the OnLive system, a commercially available thin client gaming system. Carefully designed experiments measure OnLive game traffic for various game types and analyze bitrates, packet size and time in between for both upstream and downstream game traffic [14].

Studies have been done on frame rate and performance measurement for shooter games. The study presented a unique action classification in FPS games based on interaction requirements that allowed qualitative assessment of the impact of frame rates on player performance. In the analysis of performance results, the ranges tested found that frame rate had a greater impact on performance [15].

A researched article discussed a new online tool for online gamers to share network performance results and generate bulk network performance reports created from data reported by all users [16].

Efficient bitrate reduction techniques are needed to meet the strict network bandwidth requirements of cloud games and support more players. In this study, the concept of the game attention model was introduced and game videos covering a wide range of games were evaluated [17].

3. Material and Method

In this study, the MSI Afterburner test program was used to measure the FPS performance of different computers. Assessments of these performances are as important as measuring the performance of computers. Four computers were tested, and their results were obtained.

3.1. MSI Afterburner

MSI Afterburner is a program that MSI (Micro-Star International) brand offers to users, where video cards can be controlled. As shown in Table 1, among the most downloaded FPS test programs over the internet, it is the most used video card software according to download rates.

1.MSI Afterburner	150,554
2.FurMARK	38,942
3.PassMARK	14,597
4.Cinebench	2,616

The Program increases user control over computer performance. Thanks to this software, you can easily make settings on the video card. Because it is reliable, it can work on any card and provides full control, allowing you to monitor your hardware in real-time [18].

Although MSI Afterburner is a program that can be used publicly, it can also be used with video cards of all brands. Users can monitor critical hardware resource information such as CPU (Central Processing Unit) usage, GPU (Graphics Processing Unit) usage, and graphics memory usage in real-time. It also provides a recording function, where users can periodically record graphics card benchmarking and all hardware resource usage while simultaneously running the game [19].

The Program provides easy and precise access to overclocking tools (overclocking) and video card settings. Video card voltage adjustments, fan speed control, FPS value display (OSD), average FPS values in the game reporting (Benchmark), video recordings, such as the balance between performance and temperature allows us to find.

The program that targets the graphics card hardware first recognizes the hardware and then provides information about the safest overclocking level. Its main purpose is to prevent the potential damage that overclocking operations will cause to the video card in cases that exceed the user's knowledge. One of the elements that should be considered when overclocking is to keep the video card under surveillance with statistics. These statistics include graphics card temperature and graphics card core speed. It is necessary to create the correct cooling profile to prevent the video card from becoming unusable [20].

3.1.1. Method

Before this work is done, the software and software process settings that need to be installed on the computers should be made. The following steps are required for the application.

- Step 1: Install MSI Afterburner program
- Step 2: Setting the program for the FPS value
- Step 3: Making Riva Tuner Statistics Server Program Settings
- Step 4: Opening and testing the GTA 5 Game

Step1: MSI Afterburner program is installed after downloading from the company's official website. As in Figure 1, gives the operating MHz, how much memory is used, and the temperature of the CPU in its first operation.

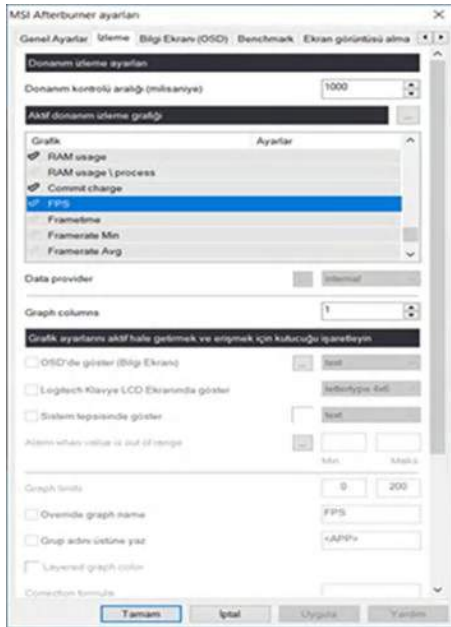
Tablo 1. Download rates of programs

Program Name	Download Rate
--------------	---------------



Figure 1. CPU Operating settings screen

Step2: In a standard installation, the FPS value does not appear on the screen. The monitoring section is selected by entering the settings section of the MSI Afterburner program. As in the screenshot in Figure 2, the OSD (information display) part in the fps section should be active. This process will allow us to see the FPS values of our computer on the screen.



Şekil 2. MSI afterburner ayarlar ekranı

Step3: MSI Afterburner installation can be opened with the Riva Tuner Statistics Server program and the results can be positioned at the desired point as in Figure 3, you can adjust the position of the screen in GTA5.



Figure 3. Riva Tuner statistics server display

4. Application

The FPS life cycle is also shown in Figure 4. Here, simply put, a video, game, or application sends a frame/image (frame) to the processor for processing, and then after the frame/image is processed in the processor, the graphics processor turns it into a meaningful frame/image (render) and transmits it to the monitor. Our main and important component in this cycle is our graphics processor, which is naturally the biggest factor affecting the FPS value [21]. The graphics card's memory and subcomponents, such as the processor chip, are also important for performance. Another important factor is the computer processor (CPU). The number of cores, speed, and compatibility of the processor with the graphics card are also parameters that affect the FPS value. Another parameter that affects the FPS value is the display (monitor) restrictions. One of the features of screens, the number of refreshes, is a significant limitation to the FPS value. 1Hz corresponds to 1 FPS in systems, so screens with a low screen refresh rate cannot be expected to give high FPS scores. As an example, a display with a maximum repeat rate of 60 Hz cannot display a value of 144 FPS. Screen tearing is also a problem that affects FPS value and game performance. The cause of this problem is the synchronization between the display and the video card. Since the monitor does not immediately render an image, it receives a new image via the GPU during processing and a different image is formed. This problem causes image tears on the screen. Different technology companies have developed software such as Nvidia G-Sync, AMD FreeSync to solve this problem [22].

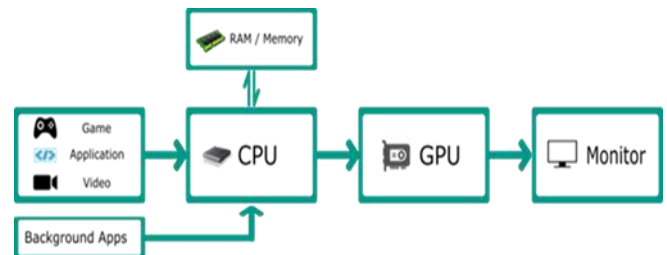


Figure 4. Factors affecting FPS

Scores above 60 FPS in today's video games satisfy visual fluency. 30-60 FPS range is an acceptable level, 30 FPS below the

visual angle movement is not smooth enough. Graphics settings in games also cause the FPS value to decrease or increase. For example, any video game's graphics settings, such as Resolution, image details, will increase performance by lowering settings, so the FPS value will also increase. In this study, the characteristics of the computers used for testing are given in Table 2.

Table 2. Features of tested computers

Display card	Intel HD Graphics	NVIDIA RTX 2060	NVIDIA GTX 1060	RADEON RX 5600 XT
Processor	Intel I7 3632Q 2.20	Intel I5 9600K 3.70	Intel I5 8500 3.00	Ryzen 5 3500x 3.6
OS	Windows 10	Windows 10	Windows 10	Windows 10
Disk	200GB	250GB	200GB	280GB
Memory	6GB	16GB	16GB	16GB
Score	0	147	134	90

In the test, the first Intel I7 3632qm 2.2 GHz processor, 200 GB disk space, and 6 GB memory were used. The Second system has Intel I5-9600K 3.7 GHz, a disk with a capacity of 250 GB, and 16 GB of ram as memory. The third system used an Intel I5 8500 3.00 GHz processor with the same number of cores as the second device. It is set at 16 GB of memory and 200 GB of disk capacity. In the last system, the processor is a different brand AMD Ryzen 5 3500x 3.6 GHz processor is selected, 16 GB of RAM with the same value as memory is used and 280 GB of storage is available in the system. The FPS values screen of the tested computers is shown in Figure 5.

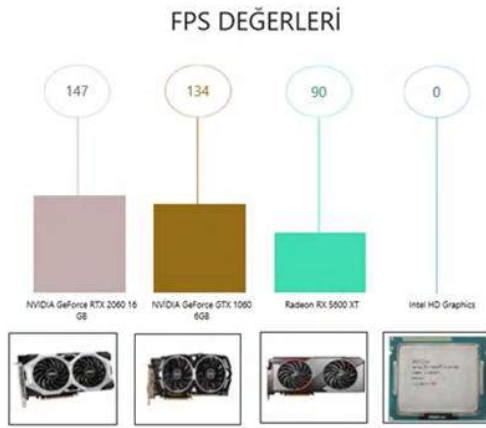


Figure 5. FPS values display

5. Conclusions and Recommendations

As a result of the study, data were obtained from the MSI Afterburner FPS test program, which ran on four computers with different hardware characteristics. The Test is based on the GTA V game. At the same time, the FPS values of the graphics processors tested and the operating speed (Mhz) of the systems, the amount of memory used, and CPU temperature data were collected. As a result of the data collected in the study, the FPS value of different systems was compared on the same game. The Nvidia Geforce RTX 2060 graphics processor achieved the highest FPS value (147) in operation. It belongs to the Nvidia Geforce GTX 1060 graphics processor with a value of 134 FPS, close to the highest value obtained. Although it has approximately the same system features, the Radeon RX 5600 XT graphics card

provides an average value of 90 FPS during testing. The FPS value could not be measured on the last computer tested. The Intel HD Graphics graphics processor on the system gave a value of 0 FPS as a test result. The system could not give the required performance, which was insufficient to meet the game requirements, and the said game could not be opened in the system, and the value of 0 FPS was taken as a score. As a result of the tests, Nvidia-branded products from four different graphics processors gave the best FPS score decisively. Nvidia branded graphics processors as a percentage; 39.62% (RTX 2060), 36.11% (GTX 1060) by taking the values of a total of 75.73% gave a value.

The game (GTA V) and software used to better observe the performance of the graphics cards used in the study can be diversified. In this way, the system can be forced, and its actual performance is achieved.

In future studies in a different test environment, healthier results will be achieved with different graphics processors that will be used on a computer with the same system elements and features. Thanks to this test environment, the impact of other system components, such as processor, memory, on the test will be minimized.

Test time is one of the biggest parameters affecting FPS scores. Subsequent studies, such as longer test times or testing identical systems at different times, can allow systems and graphics cards to give more natural FPS scores.

Different programs that show the FPS value, such as the MSI Afterburner test program used in the study, will show the effect of the software on the resulting FPS value when using the same systems and identical tests. In this way, a healthier result can be obtained from graphics cards.

References

- [1] Güler G., 2007, "Bilgisayar performans değerlendirme testleri", Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] Lilja, D. J., "Measuring Computer Performance: A Practitioner's Guide", Cambridge University Press, Cambridge, 10-130 (2000).
- [3] Korkusuz, ME ve Karamete, A. (2013). Eğitsel oyun geliştirme modelleri. Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi, 7 (2), 78-109.
- [4] Claypool, KT ve Claypool, M. (2007). Birinci şahıs nişancı oyunlarında kare hızı ve oyuncu performansı hakkında. Multimedia sistemleri, 13 (1), 3-17.
- [5] Bahana, R., Gaol, FL, Wiguna, T., Hendric, SWHL, Soewito, B., Nugroho, E., ... & Abdurachman, E. (2018, Mart). DEHB olan çocuklar için prototip oyun için performans testi. Gelen Fizik Journal: Shashaa (. Cilt 978, 1 No, s 012.004). IOP Yayıncılık.
- [6] Anonim 2021, <https://tr.msi.com/Graphics-Card/R9-380-GAMING-4G>
- [7] Chabbi, M., Murthy, K., Fagan, M., & Mellor-Crummey, J. (2013, November). Effective sampling-driven performance tools for GPU-accelerated supercomputers. In Proceedings of the International Conference on High-Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (pp. 1-12).
- [8] Sreenibha Reddy, B. (2018). GamingAnywhere'in GPU hızlandırılmalı NVIDIA CUDA ile Performans Ölçümleri Analizi.

- [9] Claypool, M., & Claypool, K. (2009, April). Perspectives, frame rates, and resolutions: it's all in the game. In Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Digital Games (pp. 42-49).
- [10] Sagi, BR ve Silvestrini, R. (2017). Video oyun testlerinde kombinatoriyal testlerin uygulanması. Kalite Mühendisliği, 29 (4), 745-759.
- [11] Ariyurek, S., Betin-Can, A. ve Surer, E. (2019). Sentetik ve insan benzeri ajanlar kullanarak otomatik video oyunu testi. Oyunlarda IEEE İşlemleri.
- [12] Huang, CY, Hsu, CH, Chen, DY ve Chen, KT (2014, Mart). Mobil bulut oyunlarında kullanıcı memnuniyetini ölçmek. In Mobile Video Teslimatta Çalıştayı Bildiriler Kitabı (s. 1-6).
- [13] Li, Q., Xu, P., & Qu, H. (2015, October). FPSseer: Visual analysis of game frame rate data. In 2015 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST) (pp. 73-80). IEEE.
- [14] Claypool, M., Finkel, D., Grant, A. ve Solano, M. (2012, Kasım). Kazanmak için zayıf mısınız? OnLive ince istemci oyun sisteminin ağ performansı analizi. In 2012 11 Ağında Yıllık Atölye ve Oyunlar için Sistem Destek (NetGames) (s. 1-6). IEEE.
- [15] Claypool, KT ve Claypool, M. (2007). Birinci şahıs nişancı oyunlarında kare hızı ve oyuncu performansı hakkında. Multimedia sistemleri, 13 (1), 3-17.
- [16] Mcdonald, N., Leader, D., Chiang, C. K., Khmelevsky, Y., Bartlett, R., & Needham, A. (2016, June). A new online tool for gamer network performance analysis. In 2016 IEEE International Conference on Cybercrime and Computer Forensic (ICCCF) (pp. 1-6). IEEE.
- [17] Ahmadi, H., Tootaghaj, SZ, Hashemi, MR ve Shirmohammadi, S. (2014). Bulut oyunlarında verimli bit hızı tahsisi için bir oyun dikkat modeli. Multimedia Sistemleri, 20 (5), 485-501.
- [18] Anonim 2021, <https://www.msi.com/Landing/afterburner/graphics-cards>
- [19] Sreenibha Reddy, B. (2018). Performance Metrics Analysis of GamingAnywhere with GPU accelerated NVIDIA CUDA.
- [20] Anonim 2020, <https://donanimarsivi.com/msi-afterburner-nasil-kullanilir/>
- [21] Anonim 2018, <https://developingschool.com/a/1/what-is-frame-rate-and-factors-affecting-it/>
- [22] Anonim 2021, <https://support.hp.com/tr-tr/document/c05740177>



Comparison of the Rules of Classification Societies (IACS Members) in the Area of Submersible Maneuvering

Oğuzhan Kirikbaş^{1*}, Şakir Bal², M. Ali Baykal³

^{1*} İstanbul Technical University, Faculty of Naval Architecture & Ocean Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2504-8727), kirikbas17@itu.edu.tr

² İstanbul Technical University, Faculty of Naval Architecture & Ocean Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8688-8482), sbal@itu.edu.tr

³ İstanbul Gedik University, Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2876-4232), mehmet.baykal@gedik.edu.tr;

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.993414)

ATIF/REFERENCE: Kirikbaş, O., Bal, S. & Baykal, M.A. (2021). Comparison of the Rules of Classification Societies (IACS Members) in the Area of Submersible Maneuvering. *European Journal of Science and Technology*, (28), 178-183.

Abstract

The Classification Societies find their purpose of existence from the requirement of ensuring safety of merchant activities on seaways. This high-level requirement contains all the safety related aspects of cargo and passenger transportation as well as extraction of resources from seas/under seabed and renewable energy production from wind and waves. The scope of a Classification Society in that high-level requirement is limited on the platform and its systems. A few decades ago, this scope is even more limited and solely consists of activities, which were performed on sea surface. Increasing dependency on the resources under the ocean floor, emergence concept of underwater cargo transportation and developing industry of tourist submarine cruises enlarged this scope. As a consequence of this “underwater” rules were developed by Classification Societies. These rules are mostly the adapted versions of the surface rules. They generally consist of strength, reliability and redundancy of the platform and its systems. However, maneuvering is not directly mentioned in the current versions of the underwater rules. On contrary to the surface vessels maneuvering characteristics can have vital consequences on the safety of underwater vehicle. The reason behind this, is the additional 2-DOF that a submersible has in the vertical plane. This paper is aiming to summarize the current status of the rules on submersible maneuvering of the Classification Societies that are members of IACS (International Association of Classification Societies). Then the existing rules were categorized. A comparison was made between Classification Societies for each of the rule to come out a conclusion about the maturity and commonality level of each category.

Keywords: Classification Society, Classification Rules, Maneuvering, Dynamic Stability, Submersible.

IACS Üyesi Klas Kuruluşlarının Su Altı Aracı Manevrası Alanına İlişkin Kurallarının Karşılaştırılması

Öz

Klas Kuruluşlarının varlık amaçları, deniz yollarında ticari faaliyetlerin güvenliğini sağlama gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Bu üst düzey gereklilik, yük ve yolcu taşımacılığının yanı sıra denizlerden/deniz tabanından kaynakların çıkarılmasını ve rüzgar ve dalgalardan yenilenebilir enerji üretiminin güvenlikle ilgili tüm yönlerinin kapsar. Bir Klas Kuruluşunun bahse konu üst düzey gerekliliğin yerine getirilmesine ilişkin sorumluluğu platform ve sistemleriyle sınırlıdır. Geçmişte bu kapsam daha da sınırlıydı ve yalnızca deniz yüzeyinde gerçekleştirilen faaliyetleri kapsamaktaydı. Deniz tabanının altındaki kaynaklara olan bağımlılığın artması, su altı yük taşımacılığı kavramının ortaya çıkması ve gelişen turistik denizaltı endüstrisi bu kapsamın genişlemesine sebep olmuştur. Bunun bir sonucu olarak, Klas Kuruluşları tarafından “sualtı” kuralları geliştirilmiştir. Bu kurallar çoğunlukla yüzey kurallarının uyarlanmış versiyonlarıdır. Genellikle bu kurallar platformun ve sistemlerinin dayanıklılığı, güvenilirliği ve yedeklenebilirliği kavramları üzerine inşa edilmişlerdir. Bu kuralların güncel versiyonlarında manevra kavramına çoğunlukla doğrudan değinilmemektedir. Su üstü gemilerinin aksine manevra özellikleri, su altı araçlarının güvenliği üzerinde hayati sonuçlar doğurabilir. Bunun nedeni, bir su altı aracının düşey düzlemde sahip olduğu ilave iki serbestlik derecesidir. Bu çalışma, IACS (International Association of Classification Societies-Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği) üyesi olan Klas Kuruluşlarının su altı aracı manevralarına ilişkin kuralların mevcut durumunu özetlemeyi amaçlamaktadır. Daha sonra mevcut kurallar kategorize edilmiş, her bir kategorinin gelişmişlik ve benzerlik düzeyi hakkında bir sonuca varmak için Klas Kuruluşları arasında kural bazında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Klas Kuruluşu, Klas Kuruluşu Kuralları, Manevra, Dinamik Stabilité, Su Altı Aracı.

* Corresponding Author: kirikbas17@itu.edu.tr

1. Introduction

“Safety first” is a highly adopted motto for all kind of maritime operations. When the vessel and its main systems are concerned, the Classification Societies carry out this motto.

This mission is not limited to the new buildings. Classification societies also get involved in other milestone topics of ship lifecycle into different extents. This involvement is done via class rules established by societies for drawing a frame of minimum requirements. The scope of these rules are mainly the strength, reliability and redundancy of the vehicle and its vital systems. For instance, nearly all of the societies necessitates a proof of midsection strength of a ship through investigation of the sizing of structural components. By doing this they get involved in the ship’s life cycle at a very early design stage. Other topics such as maneuvering may attract the society’s attention indirectly. The rules regarding such topics are only considered by means of its effects on the above-mentioned notions of the final product.

Being adapted from the surface vessel rules, this situation is also valid for the underwater rules for maneuvering. Moreover, until the last few decades underwater operations attracted much less attention due to their technical and financial difficulties.

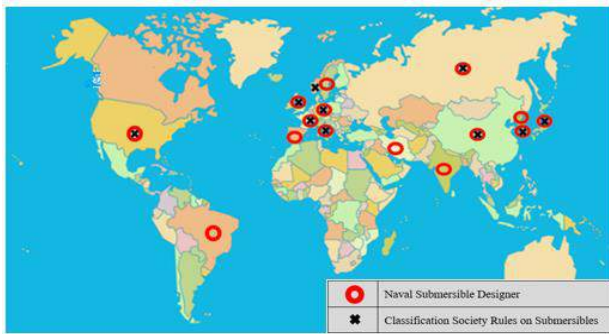


Fig. 1 Countries of naval submarine designers and having "underwater" class rules

Consequently a few nations have underwater rules. Since the pioneer and end user of the underwater technologies are mostly the navies, these nations are the main naval submarine designer and operators as one can clearly observe from Figure 1. It is shown in Figure 1 and Table 1 that the countries, which are capable of designing naval submarines, have "underwater" class rules. Out of nine societies from 12 IACS members have the rules regarding submersible vehicles.

Table 1. List of members of IACS and their status of rules for the classification of UVW

Classification Society	Rules Exist/ Not Exist
ABS (2021)	✓
BV (2018)	✓
CCS (2018)	✓
CRS	X
DNV-GL (2018)	✓
IRS	X
KRS (2021)	✓
LR (2020)	✓
Class NK (2020)	✓
PRS	X
RINA (2011)	✓
RMRS (2004)	✓

The evolution of underwater rules is also nurturing by the growing utilization of underwater vehicles for non-military purposes (i.e. merchant, scientific, leisure etc.). Examples of these type of vehicles are shown in Figure 2, 3 and 4. Classification societies are forced to regulate also this area of operation by generation of subcategories dedicated to each vessel type (tourist submersible, AUVs/ROVs, vessels for underwater cargo transportation etc.)



Fig. 2 An AUV

The knowledge required to design such vessels can be considered as a byproduct of the design experience of major naval subsea systems.



Fig. 3 A cargo submarine concept

Consequently, these systems are generally designed by the leading nations in the area of naval subsea systems design. The class rules dedicated to non-military applications are again developed by classification societies of these nations.

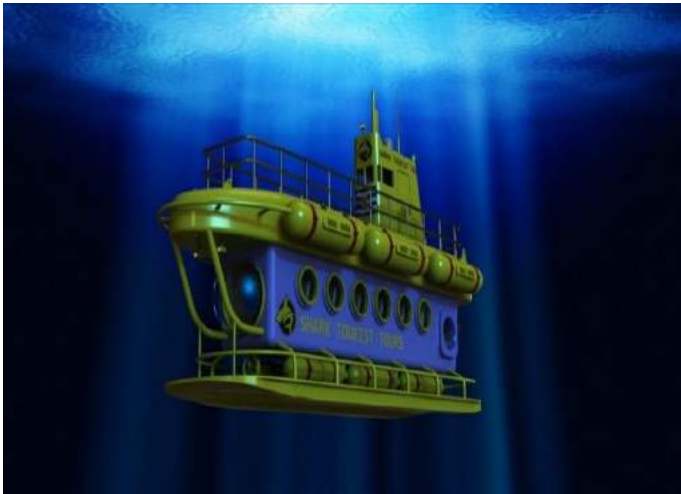


Fig. 4 A tourist submarine concept

The structure of the underwater rules of the classification societies mentioned in Table 1 can be generalized as in Figure 5.

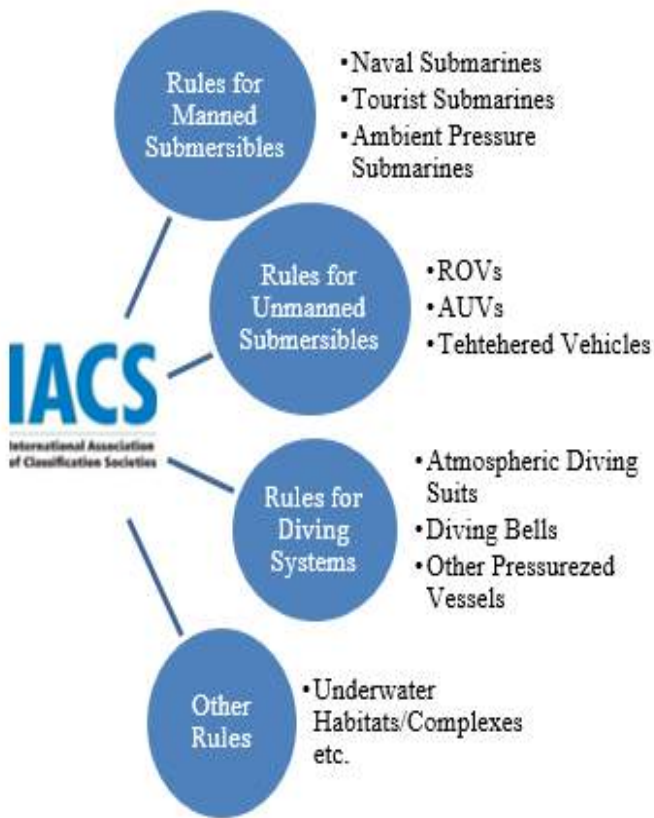


Fig. 5 The structure of rules of the Classification Societies

As a thumb rule on Manoeuvring is contained in the category of “Manned Submersibles”. If exists, the rules for other type of vessels contain only the deviations from this category.

2. Material and Method

In the scope of “manoeuvring”, the underwater rules of classification societies can be categorized into three main topics according to method of proof of their requirements. Then rules in each category can be compared between Classification Societies. Because different classification societies use different wording and emphasize different aspect of the same issue in their rules, word-by-word comparison of the rules is not practical and even e-ISSN: 2148-2683

not possible. Rather than that, the enlarged meaning of the text is compared. These categories are namely,

- Proof by investigating design documentation and drawings.
- Proof by performing test and trials.
- Proof by performing calculations and simulations.

3. Results and Discussion

Rules in the first two categories are similar for different classification societies. The reasons behind the analogy among societies about these categories are:

- For the classification phase to recognize the vessel, the minimum required design documentation/drawings are well defined.
- After completion, testing the final product to its limits is an accepted industrial practice for any engineering products.

Details of the comparison can be found in the following subsections.

3.1. Proof By Design Documentation And Drawings

The scope and content of the rules which requirements are fulfilled by submitting design documentation, are summarized in Table 2.

Table 2 Comparison of the maneuvering rules (design documentation and drawings)

#	Statement of the Rule								
1	Description and information:								
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Type of propulsion system ➤ Details of mode of operation of propulsion system ➤ Type of maneuvering equipment ➤ Operating range and response time of the steering devices 								
2	Plans and Drawings:								
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rudders/stabilizing fins etc. ➤ Their supporting structure ➤ Propulsion system 								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3.2. Proof by test and trials

According to the test plan approved by society, testing can be done for each of the equipment in factory level but a final test dive as well as surface cruising test is mandatory. In the rules of CCS, the test dive phase is also divided into shallow and deep-water tests explicitly. This must also be a common practice for the other societies for safety reasons but not explicitly mentioned in their rules. The results of this test and trials shall be submitted to the

societies as a rule. This rule applies also for the model tests (if done any) for some of the societies. The scope and content of the rules which's requirements are fulfilled by test and trials are summarized in Table 3.

Table 3 Comparison of the maneuvering rules (test and trials)

#	Statement of the Rule								
1	Submerged Tests: ✓ Functional efficiency of maneuvering and control equipment ✓ Functional test of propulsion plant ✓ Stopping tests for different speeds ahead. ✓ Installation of propelling and maneuvering equipment by means of; <ul style="list-style-type: none"> ○ Z maneuver ○ Turning circle 								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	Surface Tests: ✓ Functional test of propulsion plant ✓ Installation of propelling and maneuvering equipment by means of; <ul style="list-style-type: none"> ○ Z maneuver ○ Turning circle ✓ Pitch of rudders and planes at maximum speed.								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
		✓	✓	✓			✓		

3.3. Proof by calculations and simulations

The varsity show itself in terms of rules, which's requirements have to be proven with calculations and/or simulations. Since maneuvering is a topic, which is not well understood as structural integrity the societies prefer to establish rules regarding this topic in general terms, covering several aspects of the design at once. This requires performing of several calculations/simulations for proof. The rules often do not contain any specific requirements expressed numerically. Rather, the requirements are generally in the form of "under a defined condition the vessel or system may have the ability to meet a specific requirement". In order to take the worst-case scenario for the normal operating condition into account, this "specific condition" is generally the maximum speed and control surface angle. The scope and content of some important rules which's requirements are fulfilled by calculations and simulations summarized in Table 4.

Table 4 Comparison of the maneuvering rules (calculations and simulations)

#	Statement of the Rule								
1	Mathematical proof shall be furnished to prove that after jettisoning the solid ballast, the submersible rises safely to the surface and floats there in a stable position.								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
				✓			✓		✓
2	With the submarine traveling at full speed, the steering gear shall be capable of putting the vertical rudder from 35° on one side to 35° on the other side within the specified time values for surfaced and submerged condition. An emergency steering device shall be provided. Note: the time shall not be more than 28 seconds.								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
		✓		✓	✓				✓ ⁴
3	Operation manuals which include the following items are to be provided on board to ensure the safety of the submersible and one set of copies is to be submitted to the Society Maximum speed and limits of trim in both surface and underwater conditions and crash astern performance.								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
							✓		
4	A FMEA showing a safety envelope for NDD in a relation to the submarine velocity. The propulsion and maneuvering equipment are relevant for FMEA analysis. The FMEA shall contain a summary of the results of the analysis for the relevant submarine and especially for keeping the maneuverability and ability for surfacing. The following cases have to be investigated. ✓ Jamming of hydroplanes at maximum angle Partly flooding								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
		✓		✓					
5	Immersion vs. speed diagram justification file shall explain and demonstrate that submitted cases of sea water leakage and loss of maneuvering means scenarios won't lead the submarine to dive over extreme immersion and reach unacceptable climbing speed or trim or list during the submarine's way up to the surface of the sea. Specific hypothesis shall be mentioned. ✓ Initial situation of submarine (immersion, speed, way, trim, unavailable equipment before failure if any) timing and details of reactions of the crew and equipment responses								
	ABS	BV	CCS	DNV-GL	KR	LR	CLASS NK	RINA	RMRS
		✓							

3.4. Discussion

Evolution of underwater class rules is discussed. The underwater rules of major classification societies on submersible Maneuvering is compared under different subcategories.

The rules which contain requirements that need to be fulfilled either test and trials or document submission, are observed to be mature enough. These rules are almost common for all of the classification societies.

This cannot be claimed for rules which requirements are needed to be satisfied by calculations or simulations. As can be seen in Table 4, the rules matrix is sparse. This means that the maturity and commonality level of rules are both inadequate.

Designing complex system such as submersibles requires vast number of calculations/simulations to be performed. These analyses must be done for each new building with no doubt. Additionally, the submission/approval of the principal ones should be requested by Classification Societies even if they are not specifically mentioned in their rules.

For instance, dynamic stability is a well-known concern for underwater vehicles. To ensure the maneuvering safety of the vehicle designer as well as the Classification Society must be confident at least about the stability in the vertical plane. This can be done by calculation of the stability of indice by using stability derivatives of the vehicle and comparing them with the threshold values which can be fined in the literature.

$$G_V = 1 - \frac{M_w'(Z_q' + m')}{Z_w'(M_q' - x_G'm')}$$

where;

- G_V Vertical stability indices
- m' Non-dimensional mass
- x_G' Longitudinal center of gravity
- M_w' Non-dimensional coefficient used in representing pitching moment as a function of heave velocity.
- M_q' Non-dimensional coefficient used in representing pitching moment as a function of pitch velocity.
- Z_q' Non-dimensional coefficient used in representing heave force as a function of pitching velocity.
- Z_w' Non-dimensional coefficient used in representing heave force as a function of heave velocity.

Table 5. Vertical stability indices range vs. degree of stability (Feldman, 1995)

G _v Range	Degree of Stability
0.0 to 0.2	Marginally Stable
0.5 to 0.7	Good Dynamic Performance
≥0.8	Highly Stable

Although the above-mentioned process is a common practice, none of the classification society established a rule regarding these threshold values. This prevents the standardization and cause a lack of guidance for the designers.

4. Conclusions and Recommendations

The underwater rules of the several classification societies about the topic of “maneuvering” are examined and compared with each other. The results can be summarized as follows:

- Rules of different Classification Societies of maneuvering can be categorized into three topics according to their methods of fulfillment. For the rules, which required to be satisfied by submission of drawings/documentation and by tests/trials, the societies have common understandings. Their requirements are very similar for these two categories.
- For the rules which require the simulations/calculations to be made, there are much more diversity between the societies.
- Although vast amount of calculations and simulation must be made during the design phase of the vehicle and some of them is used as a proof of fulfillment of the rules, there are still no numerically defined criteria in the class rules that can guide a designer in terms of maneuvering characteristics during the initial design phases.

In the near future, the concept of utilization of multiple UUV’s together and in combination with a mother submarine will be realized. This concept requires a different level of safety because of the high risk of collision. Moreover, utilization of submersibles for leisure activities is also gaining a popularity. Tourist submersibles become more capable about diving and maneuvering in order to respond the demands of customers. Their numbers are also increasing in each area of operation. Considering these aspects together; Classification Societies shall develop more specific maneuvering rules for submersible vehicles to comply with these difficulties.

In parallel with the world-wide applications, utilization of submersibles is also gaining a popularity in Turkey. Considering its growing touristic potential and interest on hydrocarbon extraction under seabed, the number of submersibles operated in Turkish territorial waters and neighboring open seas has a potential of rapid increment. These vessels will need classification upon completion and annually afterwards. Moreover, Turkey has the intention of performing the design and integration of a naval submarine by solely relying on its own sources including classification phase for the sake of confidentiality. These facts, while considered together, led to the result that Turkish Lloyd (not a member of IACS) has to build a solid knowledge in submersible classification and gain ability to guide the designers with its rules.

References

American Bureau for Shipping (ABS), *Rules for building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric Facilities*, January 2021, available at: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special_service/7_rulesforbuildingandclassingunderwatervehiclessystemsandhyperbaricfacilities_2021/uwvs-rules-jan21.pdf [accessed 04 May 2021].

Bureau Veritas (BV), *Rules for the Classification of Naval Submarines*”, September 2018, available at: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr535-rules-classification-naval-submarines> [accessed 04 May 2021].

China Classification Society (CCS), *Rules For Classification of Diving Systems and Submersibles*, December 2018, available at: <https://www.ccs.org.cn/ccswzen/specialDetail?id=20191000000003438> [accessed 04 May 2021].

- Det Norske Veritas (DNV), *Rules for classification Underwater Technology Edition Part 5 Types of UWT Systems Chapter 6 Manned Submersibles*, January 2018, available at: [https://rules.dnv.com/ServiceDocuments/dnv/#!/industry/1/Maritime/5/Rules%20for%20classification:%20Underwater%20technology%20\(RU-UWT\)](https://rules.dnv.com/ServiceDocuments/dnv/#!/industry/1/Maritime/5/Rules%20for%20classification:%20Underwater%20technology%20(RU-UWT)) [accessed 04 May 2021].
- Feldman, J. P. (1995). *Method of Performing Captive-Model Experiments to predict the Stability and Control Characteristics of Submarines*. Naval Surface Warfare Center Carderock Division, Bethesda, MD.
- Korean Register of Shipping (KRS) *Rules and Guidance for the Classification of Underwater Vehicles*, 2021, available at: https://eclass.krs.co.kr/KRRules/KRRules2016/data/DATA_OTHER/ENGLISH/rb05e000.pdf [accessed 04 May 2021].
- Lloyd's Register (LR), *Rules and Regulations for the Construction & Classification of Submersibles & Diving Systems*, July 2020, available at: <https://www.lr.org/en/rules-for-submersibles/> [accessed 04 May 2021].
- Nippon Kaii Kyokai (ClassNK), *Rules for the Survey and Construction of Steel Ships Contents-Part T Submersibles*, 2020, available at: https://www.classnk.or.jp/account/en/Rules_Guidance/ssl/tech_rules.aspx [accessed 04 May 2021].
- Registro Italiano Navale (RINA), *Rules for the Classification of Underwater Units*, January 2011, available at: <https://membermarine.rina.org/content/rg> [accessed 17 May 2021].
- Russian Maritime Register of Shipping (RMRS), *Rules for the Classification and Construction of Manned Submersibles, Ship's Diving Systems and Passenger Submersibles*, November 2004, available at: <https://rs-class.org/forms/view.php?pdf=/upload/iblock/898/89898a255ffa405ede564077a6e59f45.pdf> [accessed 04 May 2021].



Cellulose based Hybrid Separators for High Performance Li-ion Batteries

Meltem Yanılmaz^{1*}

^{1*} Istanbul Technical University, Textile Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0562-5715), yanilmaz@itu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994727)

ATIF/REFERENCE: Yanılmaz, M. (2021). Cellulose based Hybrid Separators for High Performance Li-ion Batteries. *European Journal of Science and Technology*, (28), 184-187.

Abstract

Separators not only affect the safety but also electrochemical performance and they are important components in lithium ion batteries. Many researches have been conducted to fabricate separators with high electrochemical properties and high thermal stability. High porosity is important for high performance and thermal stability is vital for safety of the cells. Electrospinning can be used to produce nanofibers with high thermal stability and high porosity. Ceramic particles could also be used to improve electrochemical performance. Electro-spraying can be applied to incorporate ceramic nanoparticles in separators. Cellulose based hybrid nanofiber membrane separators were prepared via electrospinning and electro-spraying. Morphology and structural properties of hybrid separators were studied by using SEM, XRD and FTIR. N-butanol was used for porosity measurements. EIS were used for ionic conductivity and interfacial resistance studies. Electrochemical performance of the hybrid separators was also evaluated for use as separator membrane in lithium-ion batteries. It was found that cellulose hybrid nanofiber membranes had superior electrochemical performance with good electrochemical stability due to large porosity of nanofibers and electro-sprayed SiO₂ nanoparticles. Large liquid electrolyte uptake of 240%, high electrochemical oxidation limit of over 4.5 V, and low interfacial resistance of 190 ohm·cm² with lithium were observed when hybrid membranes were used in Li/LiFePO₄ cells. In addition, high cell capacities of above 160 mAh/g and good cycling performance were demonstrated.

Keywords: Electrospinning, Electro spraying, battery, Separator, Li-ion battery

Yüksek Performanslı Lityum iyon Bataryaları için Selüloz Hibrit Ayırıcılar

Öz

Lityum iyon bataryalarda ayırıcılar sadece güvenliği değil elektrokimyasal performansı da etkiler ve bataryalarda önemli bir bileşendir. Yüksek elektrokimyasal özelliklere ve yüksek ısı dayanıma sahip ayırıcı geliştirmek için birçok araştırma yapılmaktadır. Yüksek gözeneklilik performans için ve ısı dayanım batarya güvenliği açısından önem taşımaktadır. Elektroğirme tekniği ile yüksek ısı dayanım ve yüksek gözenekliliğe sahip nanolifler üretilebilir. Ayrıca seramik parçacıkları elektrokimyasal performansı arttırmak için kullanılabilir. Elektro-spray işlemi ile seramik nanoparçacıklar içeren ayırıcılar üretilebilir. Çalışmada elektroğirme ve elektro-spray teknikleri kullanılarak selüloz hibrit ayırıcılar üretilmiştir. Hibrit ayırıcıların morfoloji ve yapısal özellikleri SEM, XRD ve FTIR kullanılarak incelenmiştir. Gözeneklilik ölçümleri için N butanol kullanıldı. İyonik iletkenlik ve arayüz dirençleri için ise EIS kullanıldı. Hibrit ayırıcıların lityum iyon bataryalarında elektrokimyasal performansları incelendi. Yüksek gözeneklilik ve SiO₂ parçacıkları elektrokimyasal performansın yüksek ve elektrokimyasal dayanımın iyi olmasına katkı sağladı. Li/LiFePO₄ bataryalarında hibrit ayırıcı kullanıldığında yüksek elektrolit adsorpsiyonu, 240%, yüksek elektrokimyasal dayanım, >4.5V, lityum ile düşük arayüz direnci 190 ohm·cm² gözlemlendi. Ayrıca, 160 mAh/g in üzerine kapasite ve iyi şarj-deşarj performansı görüldü.

Anahtar Kelimeler: Elektroğirme, Electro spray, Batarya, Ayırıcı, Li-iyon batarya

* Corresponding Author: yanilmaz@itu.edu.tr

1. Introduction

Li-ion batteries have been gained great attention due to superior properties including high specific energy, long cycle life, low self-discharge rate, no memory, and long shelf life. Even though, many research have been conducted on materials for Li-ion batteries, the safety and performance of the cells should be improved for new applications such as electric cars and large scale energy storage systems (Lee, Yanilmaz, Toprakci, Fu, & Zhang, 2014), (Zhao et al., 2021).

Separators are placed between two electrodes to prevent physical contact of electrodes and they allow ion movements owing to their porous structure. Mechanical and thermal stability is important to prevent short circuit. In addition, highly porous structure is required to reduce cell resistance and thus improve electrochemical properties (Yanilmaz, Zhu, Lu, Ge, & Zhang, 2017).

Electrospinning is a common technique to produce nanofibers and polymers such as polyvinylidene fluoride, polyacrylonitrile, poly(methyl methacrylate), etc. have been used to produce nanofibers. However, considering environmental issues, it is important to use natural polymers to produce nanofibers for high performance separators. Moreover, it has been shown that ceramic nanoparticles could improve electrochemical

performance of the separators (Yanilmaz, 2020),(Zaidi et al., 2020).

In this study, cellulose hybrid separators were fabricated using electrospinning and electro-spraying methods. Electrospinning of cellulose acetate provided high porosity and electro-spraying of SiO₂ ceramic nanoparticles led to improved electrochemical performance.

2. Material and Method

Cellulose acetate was dissolving in N,N-dimethylformamide (DMF) and SiO₂ nanoparticles were dispersed in acetone. During electrospinning, the feeding rate of 1 ml/h, applied voltage of 15 kV were used and the distance between the collector and the needle was 15 cm. In electro-spraying, the same distance, feeding rate and the voltage was set in order to produce hybrid separators. All chemicals were used as received without further purification. The morphologies was studied by using scanning electron microscopy. The porosities and electrolyte uptake capacities of the membranes were determined by using uptake tests. X-ray diffraction and FTIR analysis were conducted for structural characterization. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and cyclic tests were used for electrochemical characterization. Li/LiFePO₄ cells were prepared for cycling tests.

Table 1. Porosity, electrolyte uptake, ionic conductivity, interfacial resistance

	Porosity,%	Electrolyte uptake, %	Ionic conductivity, mS·cm ⁻¹	Interfacial resistance, ohm·cm ²
Cellulose based separator	70	240	2	300
Hybrid separator	77	290	2.4	190
PP separator	41	158	0.8	410

3. Results and Discussion

Hybrid separators were prepared via electrospinning of cellulose and electro-spraying of SiO₂ nanoparticles. SEM images of cellulose based separator and hybrid separator were shown in Fig. 1 and Fig. 2, respectively. Fibrous structure without defects were observed in Fig.1 and uniform ceramic nanoparticle coating was seen in Fig. 2. Separators are porous membranes and their physical properties affect the safety and cell performance. Highly porous separators allow fast movement of ions and thus improve electrochemical performance. As seen in Fig 1, cellulose membrane has nanofibrous structure without any defects. Fig. 2 shows ceramic nanofiber coating on fibrous membranes. Owing to the electro-spraying approach, uniform coating of SiO₂ are achieved on highly fibrous structure. Previous studies reported the inclusion of nanoparticles in nanofibers by adding nanoparticles into polymer solution and electrospun this composite solution into nanofibers. However, in this technique the amount of particles

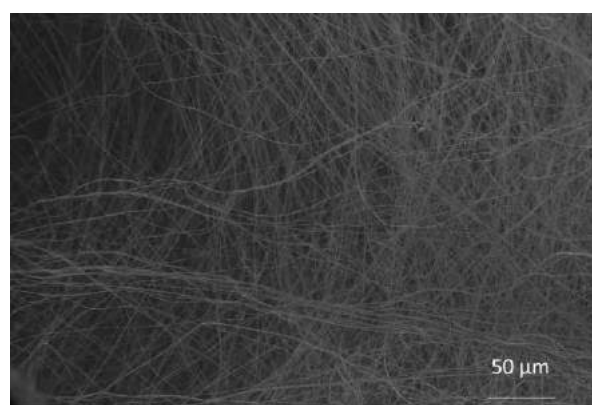


Fig. 1 SEM image of cellulose based separators

limited to around 10% of the polymers used and nanoparticles led to irregular morphology which is detrimental to the cell performance. However, large amount of ceramic nanoparticles could be added in the membrane without changing the morphology of nanofibers which is promising for high performance cells. In addition, using thermally stable cellulose based nanofibers are also beneficial for safety of the cells.

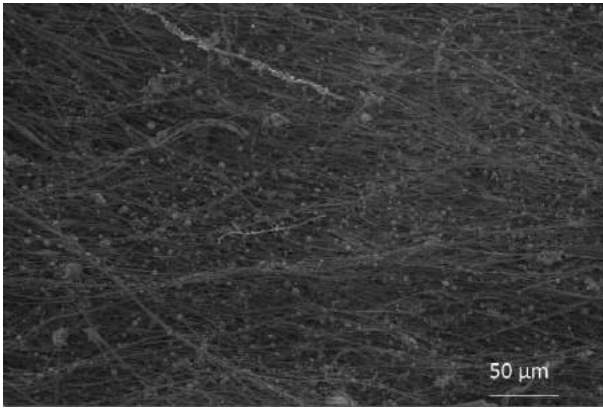


Fig. 2 SEM image of hybrid separators

EDX spectrum of hybrid separators and cellulose separators were given in Fig.3. The peak related to Si was seen in the spectrum.

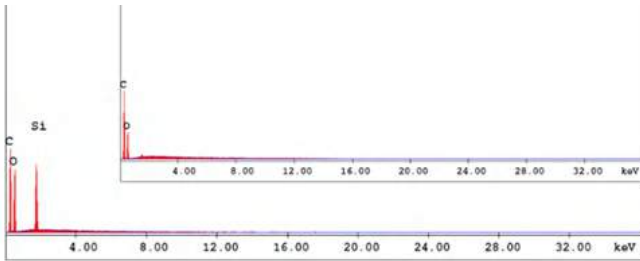


Fig.3 EDX spectrum of hybrid separators (inset: EDX spectrum of cellulose based separators)

FTIR and XRD spectra of cellulose based and hybrid separators are seen in Fig. 4 and Fig.5, respectively.

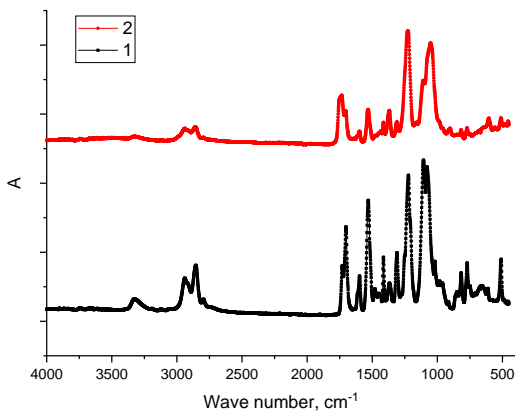


Fig. 4 FTIR spectra of cellulose based separators (1) and hybrid separators (2)

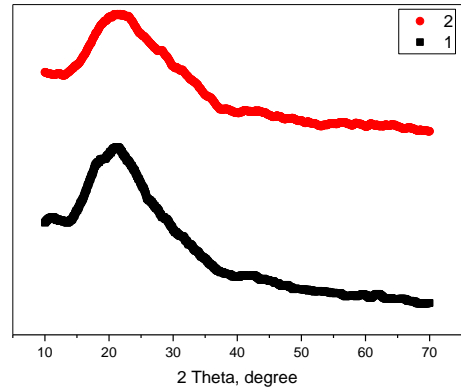


Fig. 5 XRD spectra of cellulose based separators (1) and hybrid separators (2)

EDX spectra of hybrid membrane show the presence of SiO₂ in the separators. The characteristic peaks of cellulose acetate are the peaks attributed to OH stretching, CH stretching, C=O stretching of acetyl group, CO stretching of acetyl group, COC stretching of acetyl group (Fei, Liao, Cheng, & Song, 2017) and these peaks were seen around 3460 cm⁻¹, 2940 cm⁻¹, 1750 cm⁻¹, 1240 cm⁻¹, 1050 cm⁻¹, respectively in FTIR spectra of separators.

X-ray diffraction analysis could be used to study change in crystalline nature, crystallographic structure, chemical composition, and physical properties. In XRD spectra of cellulose and hybrid separators, a wide peak around 20° are seen which is typical for semi crystalline polymers (de Freitas, Senna, & Botaro, 2017). The peak becomes broader in hybrid separators due to the amorphous nature of SiO₂ nanoparticles.

Porosity is one of the main feature of separators that affect the cell resistance. High porosity with good mechanical properties are essential to reach high specific energy. In commercial batteries, PP membranes are used and this microporous membranes have limited porosity and have poor affinity to the electrolyte which limits the performance of the cells (Yanilmaz et al., 2017).

As shown in Table 1, the porosity of cellulose based separator is 70% and inclusion of ceramic particles increases the porosity up to 77%. The increase could be attributed to the high specific surface area and amorphous structure of the SiO₂ nanoparticles. However, PP membrane has a low porosity of 41%.

Electrolyte uptake is another important property that influence the performance of the cells. The electrolyte uptake values of cellulose based and PP membranes are 240% and 158%, respectively. Electrospun separators have higher electrolyte uptake values owing to the higher porosity compared to microporous PP membrane. The hybrid separator has the highest uptake capacity of 290% compared to those of cellulose and PP membranes. The high electrolyte uptake of hybrid membranes could be attributed to high porosity of nanofibrous membrane and affinity of ceramic nanoparticles to the electrolyte. High electrolyte uptakes was also reported for SiO₂ containing polyvinyl alcohol membranes (Yanilmaz, 2020). Ahn et al (Ahn et al., 2020) also reported superior wettability with the addition of ceramic particles on PE membrane.

Ionic conductivities of the hybrid, cellulose and PP membranes were also calculated. Owing to the high porosity and SiO₂ addition, the hybrid membrane has the highest ionic conductivity of 2.4 mS/cm² whereas the ionic conductivity of cellulose membrane is 2 mS/cm². PP membrane has the ionic conductivity

of only 0.8 mS/cm² because of its low porosity and poor affinity of PP membrane to the electrolyte.

The cell performance was directly related to the cell resistance and low resistance is required for long cycling life with high capacity. Cell resistance are also important for high C-rates. Interfacial resistance of the Li/LiFePO₄ cells prepared with hybrid and cellulose separators are evaluated and hybrid membrane delivers the low interfacial resistance of 190 ohm·cm² compared to that (300 ohm·cm²) of cellulose membrane. The low resistance of hybrid membrane was related to the SiO₂ coating. Low interfacial resistance with ceramic layer addition was also reported for polyolefin membranes (Ahn et al., 2020).

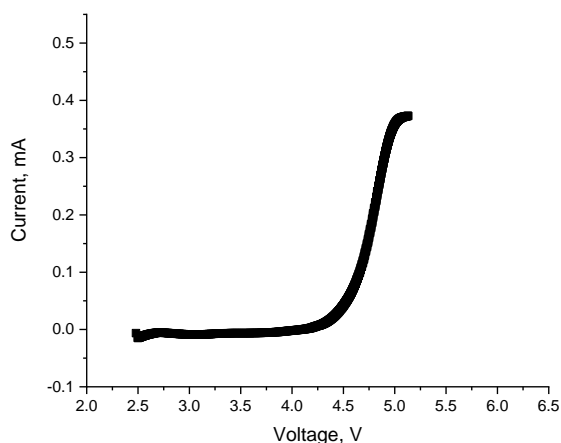


Fig. 6 LSV of hybrid separators.

Fig. 6 shows the linear sweep voltammetry curve of the cell prepared with hybrid separators. The C rate performance of the Li/LiFePO₄ cells prepared with PP membrane, cellulose membrane and hybrid membrane was reported in Fig.7. High specific capacity was observed when hybrid separators were used.

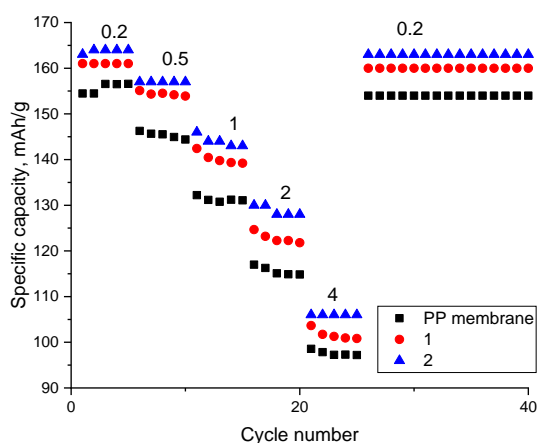


Fig. 7 C-rate performance of cellulose based separators (1) and hybrid separators (2).

Linear sweep voltammetry (LSV) curves are seen in Fig. 6 and as seen from the figure the cell prepared with hybrid membrane can be cycled over 4.5 V without electrolyte decomposition which is an important property for high energy density.

Fig. 7 reports C-rate performance of the Li/LiFePO₄ cells prepared with hybrid, cellulose and PP membranes. The cell with the hybrid membrane delivers the specific capacity of over 160

mAh/g whereas the cell with PP membrane has the capacity of around 150 mAh/g at 0.2 C. As C-rate increases, the cell with hybrid membrane delivers higher capacity compared to those with cellulose and PP membrane. The capacity is over 105 mAh/g whereas the cell with PP membrane delivers the capacity around 95 mAh/g at 4C. When the C-rate goes back to 0.2 C, the cell with hybrid membrane still delivers high capacities. The high C-rate performance of hybrid membrane could be attributed to high porosity with high ionic conductivity and low interfacial resistance.

4. Conclusions and Recommendations

Cellulose hybrid separators with high electrochemical stability and large porosity were fabricated by using electrospinning and electro-spraying. The highly porous nano-fibrous structure was studied via SEM. The presence of SiO₂ was shown with structural characterization studies. Ionic conductivity, electrolyte uptake, interfacial resistance of the studied separators were investigated. Owing to the presence of SiO₂ nanoparticles and porous nanofibers, hybrid membrane had the highest porosity and electrolyte uptake capacities. In addition, the cell prepared with hybrid separators delivered higher capacities compared to cell with commercial PP membrane. Results showed that electro-spraying is a facile approach to fabricate hybrid separators for high performance batteries.

References

- Ahn, J. H., You, T.-S., Lee, S.-M., Esken, D., Dehe, D., Huang, Y.-C., & Kim, D.-W. (2020). Hybrid separator containing reactive, nanostructured alumina promoting in-situ gel electrolyte formation for lithium-ion batteries with good cycling stability and enhanced safety. *Journal of Power Sources*, 472, 228519.
- De Freitas, R. R., Senna, A. M., & Botaro, V. R. (2017). Influence of degree of substitution on thermal dynamic mechanical and physicochemical properties of cellulose acetate. *Industrial crops and products*, 109, 452-458.
- Fei, P., Liao, L., Cheng, B., & Song, J. (2017). Quantitative analysis of cellulose acetate with a high degree of substitution by FTIR and its application. *Analytical Methods*, 9(43), 6194-6201.
- Lee, H., Yanilmaz, M., Toprakci, O., Fu, K., & Zhang, X. (2014). A review of recent developments in membrane separators for rechargeable lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 7(12), 3857-3886.
- Yanilmaz, M. (2020). Evaluation of electrospun PVA/SiO₂ nanofiber separator membranes for lithium-ion batteries. *The Journal of The Textile Institute*, 111(3), 447-452.
- Yanilmaz, M., Zhu, J., Lu, Y., Ge, Y., & Zhang, X. (2017). High-strength, thermally stable nylon 6, 6 composite nanofiber separators for lithium-ion batteries. *Journal of Materials Science*, 52(9), 5232-5241.
- Zaidi, S. D. A., Wang, C., Shao, Q., Gao, J., Zhu, S., Yuan, H., & Chen, J. (2020). Polymer-free electrospun separator film comprising silica nanofibers and alumina nanoparticles for Li-ion full cell. *Journal of Energy Chemistry*, 42, 217-226.
- Zhao, X., Wang, W., Huang, C., Luo, L., Deng, Z., Guo, W., . . . Meng, Z. (2021). A novel cellulose membrane from cattail fibers as separator for Li-ion batteries. *Cellulose*, 1-13.



A numerical investigation of the effect of fiber orientation on the natural frequency of hybrid composite laminate

Engin Erbayrak

Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0648-8823),
enginerbayrak@bayburt.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994844)

ATIF/REFERENCE: Erbayrak, E. (2021). A numerical investigation of the effect of fiber orientation on the natural frequency of hybrid composite laminate. European Journal of Science and Technology, (28), 188-191.

Abstract

In this study, the effect of fiber orientations on the natural frequencies of the hybrid composite laminate (HCGFRE) that is consisted of sequential stacking of plain woven carbon fiber reinforced epoxy (CFRE) and plain woven glass fiber reinforced epoxy (GFRE) fibers was investigated. A finite element approach was carried out in order to determine the natural frequencies of hybrid composite laminate. Analyzes were performed using the LS-DYNA® software. In the finite element analysis, the natural frequencies corresponding to the first three modes were determined separately for each fiber orientation ($0^0, 30^0, 45^0$). Besides the modal analysis of hybrid composite laminates formed by sequential stacking of the same fiber orientations, the natural frequencies of hybrid composite laminates formed by stacking in different fiber orientations were also examined within the scope of the study. The same boundary conditions were applied for all fiber orientations since it is essential to study with a similar degree of freedom. In addition, the effect of the mesh sensitivity used in the finite element approach on the natural frequency is also considered. It is seen that both the change of fiber orientation and the stacking of composite plates with different fiber orientations directly affect the natural frequency values for all modes.

Keywords: Natural frequency, implicit analyses, Euler vibration, hybrid composite, fiber orientation.

Hibrit kompozit laminatın lif yöneliminin doğal frekans üzerinde etkisinin sayısal bir araştırması

Öz

Bu çalışmada, düz dokuma karbon fiber takviyeli epoksi (CFRE) ve düz dokuma cam elyaf takviyeli epoksi (GFRE) fiberlerin ardışık istiflenmesinden oluşan hibrit kompozit laminatın (HCGFRE) doğal frekansları üzerine fiber oryantasyonlarının etkisi araştırılmıştır. Hibrit kompozit laminatın doğal frekanslarını belirlemek için sonlu elemanlar yaklaşımı gerçekleştirilmiştir. Analizler LS-DYNA® yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde, ilk üç moda karşılık gelen doğal frekanslar, her bir fiber oryantasyonu ($0^0, 30^0, 45^0$) için ayrı ayrı belirlenmiştir. Aynı lif yönelimlerinin ardışık istiflenmesiyle oluşturulan hibrit kompozit laminatların modal analizinin yanı sıra, farklı lif yönelimlerin de istifleterek oluşturulan hibrit kompozit laminatların doğal frekansları çalışma kapsamında incelenmiştir. Benzer bir serbestlik derecesi ile çalışmak esas olduğundan, tüm fiber yönelimleri için aynı sınır koşulları uygulanmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar yaklaşımında kullanılan ağ duyarlılığının doğal frekans üzerindeki etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Hem fiber oryantasyonunun değişmesinin hem de farklı fiber oryantasyonlarına sahip kompozit plakaların istiflenmesinin tüm modlar için doğal frekans değerlerini doğrudan etkilediği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğal frekans, implicit analizler, Euler titreşimi, hibrit kompozit, fiber oryantasyonu.

1. Introduction

Composite materials have recently gained popularity as a result of their mechanical and physical qualities, which include lightweight, high strength, and better conductivity. They've also been used in situations where corrosion resistance and convenience of manufacture are necessary. With the advancement of technology, composite materials are being refreshed. Hybrid composite technology is the first of its kind in this field. The vibrational analyses of composite materials generated from various fiber and matrix components have been determined in the literature [1-4]. However, modal analyzes of hybrid composite laminates are limited in the literature [5-6]. In particular, the vibration analysis of the hybrid composite laminate used in the study (HCGFRE) has not been found in the literature.

In this study, the effect of fiber orientations on the natural frequencies of the hybrid composite laminate (HCGFRE) that is consisted of sequential stacking of plain woven carbon fiber reinforced epoxy (CFRE) and plain woven glass fiber reinforced epoxy (GFRE) fibers was investigated. In addition, the natural frequencies of hybrid composite laminates generated by stacking in different fiber orientations were also investigated. The natural frequency results for all fiber orientation and stacking conditions of hybrid composite laminates were computed numerically.

2. Material and Method

2.1. Material

Hybrid composite laminates were formed in 8 layers using the vacuum infusion technique. Carbon and glass fibers were

used as reinforcement material, and Araldite LY 1564 epoxy adhesive was used as matrix material in the production of hybrid composite. The mechanical properties of the hybrid composite laminate to be used in finite element analysis are shown in Table 1.

2.2. Numerical analysis

The natural frequency values of hybrid composite laminates were determined using the LS-DYNA finite element program. In the finite element analysis, the hybrid composite plate was modeled using the 100*100*2 mm geometric dimensions. The mechanical properties of the hybrid composite material were

Table 1. Mechanical properties of HCGFRE [7].

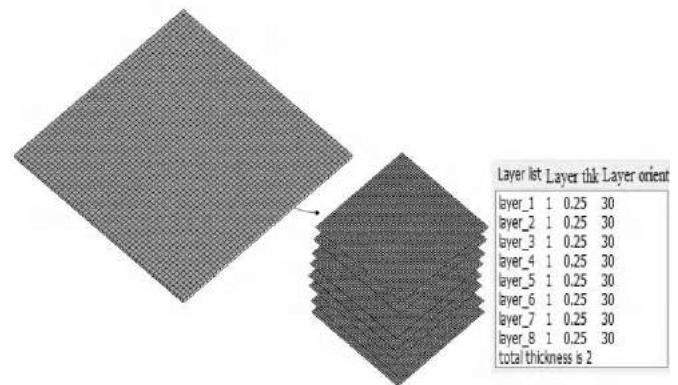
Properties	HCGFRE
Tensile strength (MPa)	802.43
Elastisite modulus (GPa)	81.67
Elongation at break	1.18
Density (kg/m ³)	1200

2.2.1 Mesh Sensitivity

In the finite element analysis, the element size of the composite laminate was determined using mesh sensitivity. The variation of the natural frequencies of the composite laminate, which is distinguished into finite elements with different element sizes, has been investigated. The optimum element size value

assigned using Table 1. The layered composite structure was made in the finite element program by first selecting the appropriate composite material card and then creating its layers. In the material model, the MAT 22 (Composite damage) material card and the "Composite Long" card, in which the composite layers and orientation of the fibers in the layers are created, were used. The image of the material model in finite element analysis is shown in Figure 1.

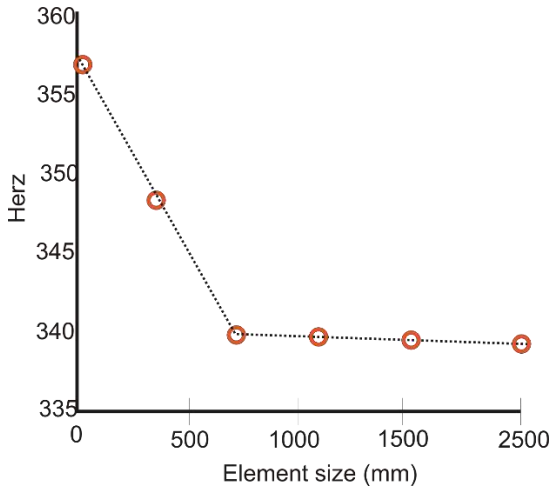
Figure 1: Numerical model of hybrid composite material



It should be stated here that a new set of Cartesian coordinates on the material must be recognized to determine the fiber orientation of composite materials. Therefore, a new coordinate has been added to the material card which the fiber orientation angles were defined. This coordinate is defined with the material axes option (AOPT). In boundary conditions, both sides of the composite laminate are attached to fixed support. It is stated here that the same boundary conditions were applied for all fiber orientations since it is essential to study with a similar degree of freedom. The Shell element with six degrees of freedom (Ux, Uy, Uz, Rotx, Roty, Rotz) was used in the modelling of the composite material. Another important point in finite element analysis is to define the appropriate element size of the model. The effect of the selected element size on the analysis results should be considered. This process is called mesh sensitivity in finite element analysis.

has been determined considering this variation. Mesh sensitivity is shown in Figure 2.

Figure 2: Mesh sensitivity



It is seen in Figure 2, the optimum element size is determined from the region where the element size change does not affect the natural frequency. The composite laminate is divided into 2500 elements and 2601 nodes.

2.2.2 Implementation of modal analysis to hybrid composite material

In the determination of natural frequencies in composite materials with the finite element approach, the process of taking equivalent matrices or inverses is performed at a certain time step. Meanwhile, it should be stated that the matrices mentioned are the mass and stiffness matrices. This analysis method is called implicit analysis. The natural frequencies corresponding to the first three modes of the hybrid composite laminate were determined by entering the "Implicit eigenvalue" and "Implicit general" commands in the LS-DYNA software. In addition, the time step value of the analysis is defined in the "Implicit general" command as well [8].

3. Results and Discussion

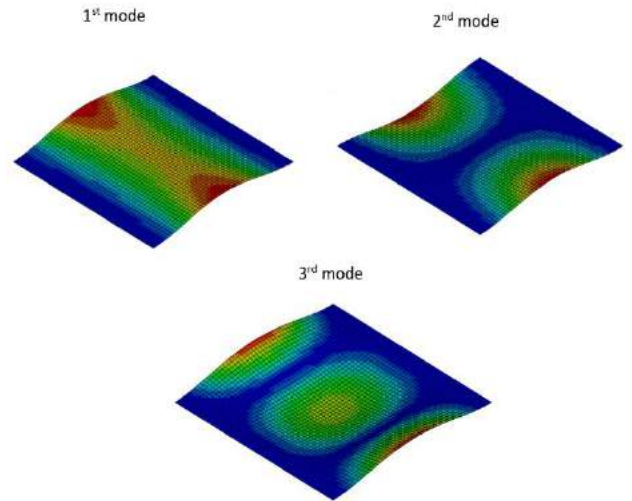
The effect of fiber orientations on the natural frequencies of the hybrid composite laminate (HCGFRE) was examined in this research. The natural frequencies of hybrid composite laminates made by stacking different fiber orientations were also studied. The first three mode deformation images for all fiber

It is necessary to explain how the model accuracy is ensured before evaluating the finite element analysis results. In this context, the natural frequency values of composite laminates (CFRE, GFRE) that form of the hybrid composite laminate have been found in the literature [1]. The natural frequency values were determined by creating a numerical model of the related composite laminates under similar boundary conditions with the literature. It has been observed that the obtained results converge to each other. Thus, the hybrid composite laminate was modelled after the numerical model was validated.

In the natural frequency results, it is seen that the highest and lowest natural frequency values are obtained from composite laminate with a fiber orientation of 45 degrees in all modes. Moreover, the highest natural frequency variation among the modes was also determined from composite laminate with 45-degree fiber orientation. In addition, when the results are examined in general, it is seen that both the change of fiber

orientations and stacking conditions of composite laminates are shown in Figure 3.

Figure 3: The mode shapes of hybrid composite laminate



The vibration mode shapes occurring in the hybrid composite material are shown in Figure 3. The mode shapes remain the same for different fiber orientations and stacking conditions of the hybrid composite material. This is because there is no dramatic variation in the calculated natural frequency values for each mode under all conditions.

Eventually, end of the finite element analysis, the natural frequency values for the first three modes of the hybrid composite laminate for all conditions are given in Table 2.

Table 2. Natural frequencies result of HCGFRE for each mode.

Conditions	Mode I (Hz)	Mode II (Hz)	Mode III (Hz)
[0] ₈	337,94	355,19	551,23
[30] ₈	291,81	348,92	604,33
[45] ₈	276,46	349,87	623,66
[0/30/45/0/30/45/0/30]	312,72	353,25	585,52

orientation and the stacking of composite plates with different fiber orientations directly affect the natural frequency values for all modes.

4. Conclusions and Recommendations

The influence of fiber orientations on the natural frequencies of the hybrid composite laminate (HCGFRE) was explored in this work. The natural frequencies of hybrid composite laminates made by stacking different fiber orientations were also studied. The natural frequency findings of hybrid composite laminates were estimated numerically for all fiber orientation and stacking situations. The main conclusion is explained as follows;

- The frequency bandwidth (lowest and highest) of the composite laminate with a fiber orientation of 45

degrees is the highest compared to the other composite laminates.

- It was observed that fiber orientation and stacking of composite plates with different fiber orientations directly affect the natural frequencies for all modes.
- It is known that defining the natural frequency variations of the composite laminate under different circumstances is crucial for determining the resonance conditions of composite laminates. It is thought that this study for HCGFRE composite laminate, which is not encountered in the literature yet, will make an important contribution to the existed literature.

References

- [1] Nikhil, K.M., Indrajeet, S.B., Utkarsh, C.D., Manoharan, R., “Modal analysis of hybrid laminated composite sandwich plate,” *Materials Today: Proceedings.*,5, 12453-12466,2018.
- [2] Rangasamy,S., Loganathan,K., Natesan,A., “Experimental investigation and numerical analysis of the dynamic characteristics of a laminated hybrid composite bed,” *Polymer Composites.*, DOI.10.1002/pc.23555,1-7,2015.
- [3] Rajkumar, D.R., Santhy, K., Padmanaban,K.P., “Influence of mechanical properties on modal analysis of natural fiber reinforced laminated composite trapezoidal plates,” *Journal of Natural Fibers.*, DOI 10.1080/15440478.2020.1724230, 1-18,2020.
- [4] Bulut, M., Bozkurt, Ö.Y., Erklığ,A., “Damping and vibration characteristics of asalt-aramid/epoxy hybrid composite laminates,” *Journal of Polymer Engineering.*, DOI.10.1515/polyeng-2015-0168, 1-8,2015.
- [5] Rajeshkumar, G., Hariharan, V., “Free vibration analysis of hybrid-composite beams,” in *IEEE-International Conference On Advances in Engineering, Science And Management (ICAESM -2012)*, Tamil Nadu, India., 30 March 2012.
- [6] Song, C., Fan, W., Dong, J., Zhao, Y., Lu, L., Mi, P., Xu, Y., Hou, L., Liu, T., “Modal analysis of 3D multi-axial hybrid composite with experimental and numerical methods.” *Applied Composite Materials* DOI.10.1007/s10443-021-09962-3, 1-16,2021.
- [7] Erbayrak, E., Yuncuoglu, E.U., Kahraman,Y., Gumus, B.E., “An Experimental and Numerical Determination on Low-Velocity”, *Iranian journal of science and technology, transactions of mechanical engineering*, 45,665-681, 2021.
- [8] Maker, B.N., Bensonof, D.J., “Modal methods for transient dynamic analysis in Is-dyna,” in *7th International LS-DYNA Users Conference*, Detroit, June 2016.



Yüz İfadesini Algılayarak Kullanıcının Ruh Haline Göre İçerik Öneren Mobil Uygulama

İsmail Gündüz¹, Özgün Yılmaz^{2*}

¹ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4840-0612), ismail.gunduz.1999@gmail.com

^{2*} Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4394-4031), ozgun.yilmaz@ege.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.994802)

ATIF/REFERENCE: Gündüz, İ., Yılmaz, Ö. (2021). Yüz İfadesini Algılayarak Kullanıcının Ruh Haline Göre İçerik Öneren Mobil Uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 192-197.

Öz

Günümüzde insanlar, boş zamanlarını değerlendirmek için akıllı cihazları üzerinden dijital içerikler tüketmektedir. Ancak bazen kullanıcılar o anki ruh durumlarına göre bir film, dizi veya video izlemek ya da müzik dinlemek isteyebilir. Bu çalışmada, bu soruna çözüm olarak geliştirilen mobil uygulama anlatılmaktadır. Hedef cihaz olarak da hemen hemen herkesin sahip olduğu akıllı telefonlar seçilmiştir. Mobil uygulamada, kullanıcı rastgele olarak veya o anki ruh durumunu kendisi belirterek veya kullanıcının yüz ifadesine göre içerik önerileri alabilir. Yüz ifadesine göre içerik önerisinde bulunmak amacıyla, yapay zeka ve görüntü işleme kullanılarak, akıllı telefonun kamerasından kullanıcının anlık yüz ifadesi elde edilerek kullanıcının ruh hali tahmin edilir ve kullanıcıya bu ruh haline uygun dijital içerik önerilir. Ayrıca, hangi duyguya karşılık hangi içerik türünün içinden seçim yapılacağı, sistem yöneticisi tarafından belirlenebilir.

Anahtar Kelimeler: Dijital içerik, Yapay zeka, Görüntü işleme, Ruh hali, Akıllı öneri.

Mobile Application for Recommending Content Based on User's Mood by Detecting Facial Expression

Abstract

Nowadays, people consume digital content on their smart devices to spend their free time. However, sometimes users might want to watch movies, TV series, videos or listen to music according to their current emotional state. In this paper, a mobile application is proposed as a solution to this problem. Since almost everyone owns a smartphone, smartphones have been determined as the target device. Via the mobile application, the users can receive content recommendations randomly or by entering their current mood or based on the user's facial expression. In order to recommend content based on facial expression, the user's mood is predicted by using artificial intelligence and image processing after the user's instant facial expression is obtained from the smartphone's camera, and digital content suitable for this mood is recommended to the user. In addition, the system administrator can determine which content type to choose against which emotion.

Keywords: Digital content, Artificial intelligence, Image processing, Mood, Smart recommendation.

* Sorumlu Yazar: ozgun.yilmaz@ege.edu.tr

1. Giriş

Gelecekte teknolojinin, günümüzde olduğundan daha yaygın olacağı beklenmektedir. Gelişen teknolojilerle birlikte insanların alışkanlıkları da değişiklik göstermiştir. Örneğin sinema salonları evimize kadar girmiştir. Artık izlemek istediğimiz film kumandamızın birkaç tuş uzağındadır. Hatta bazı teknolojiler aracılığıyla, kumandaya ihtiyaç bile duyulmamaktadır. Kullanıcı verdiği sesli komutlar aracılığıyla sistemi yönetebilmektedir. İsteddiğimiz filmi seçmek yerine sistem bizim beğeneceğimizi tahmin ettiği filmi gösterebilmektedir. Bunu yapay zeka ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak yapmaktadır. Ancak insanların halihazırda kullandığı bu sistemler duygularımızı işin içine katmamaktadır. Duyguları da dikkate alarak kullanıcılara daha uygun öneriler sunulabilir (Babanne, Borgaonkar, Katta, Kudale, & Deshpande, 2020; Mariappan, Suk, & Prabhakaran, 2012).

Duygularımız, o anda yaptığımız eylemleri büyük ölçüde etkiler. Bu sebeple bir insan, benzer durumlarda farklı ruh hali içerisinde bulunduğu takdirde birbirine tamamen zıt eylemler gerçekleştirebilir (Metilda Florence & Uma, 2020; Sharma, 2020). Genellikle komedi filmi izleyen bir kullanıcıya “akıllı” sistemler komedi filmi önerecektir. Ancak bu kullanıcının mutsuz bir ruh halinde olduğunu varsayarsak, kullanıcı komedi filmi izlemek istemeyebilir. Bir dram filmi önermek kullanıcının ağlama ihtiyacını gidermesine yardımcı olabilir. Veya gülücük saçan bir kullanıcı pek izlemiyor olsa da bir komedi filmi aracılığıyla daha da mutlu olabilir.

Bu çalışmada, kullanıcılara o anki duygularına uygun dijital içerik önerilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda hedef kitle, dijital içerik tüketen tüm kullanıcılarıdır. Bu da günümüzde hemen herkes anlamına gelmektedir.

Çalışma, Android işletim sistemini çalıştıran mobil cihazlar için tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Son araştırmalara göre Android’in küresel olarak %87 gibi bir oranla en popüler işletim sistemi olması (Statista, 2019), işletim sistemi konusunda bu seçimin yapılmasının en önemli sebebidir. Geliştirim aşamasında Android geliştirmede önemli bir rol sahibi olan Java programlama dili kullanılmıştır.

Bu çalışma, kullanıcıların boş zamanlarını hem sevebilecekleri hem de o anki duygu durumlarına uygun içeriklerle harcamaları, teknolojinin günlük hayatta etkili kullanımına bir örnek olması açısından önemlidir. Aynı zamanda kaliteli içerik önerileriyle kullanıcının içerik arama esnasında kaybedeceği zamanı da en aza indirme gibi bir avantajı da bulunmaktadır. Geliştirilen uygulamaya “Moodie” ismi verilmiştir. İngilizce ruh hali anlamına gelen “mood” ve film anlamına gelen “movie” kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir.

2. İlgili Çalışmalar

Bu bölümde halihazırda bu projenin amacına yönelik olarak üretilmiş ve kullanıcılara sunulmuş uygulamalardan ve web sitelerinden bahsedilmektedir.

2.1. A Good Movie To Watch

A Good Movie To Watch (A Good Movie to Watch, 2021), kendi geliştiricileri tarafından “Çok beğenilen ancak az bilinen filmleri ve dizileri önerir.” cümlesiyle tanımlanmıştır. Belirtilene göre %70’in üzerinde izleyici ve eleştirmen puanına sahip içerikler barındırır. Belli bir algoritma aracılığıyla çalışmayan bu

platformda öneriler tamamıyla insanlar tarafından yapılmaktadır. Yani bu sitede gördüğümüz bir filmi, siteye katkıda bulunan herhangi bir kişinin izlediğini ve bu kişinin filme kefil olduğunu anlayabiliriz. Algoritma kullanılmamasının sebebi olarak geliştiriciler, algoritmaların geçmiş tercihlere göre içerik önereceğini öne sürmektedir (A Good Movie to Watch, 2021).

A Good Movie To Watch, komik, romantik, depresif gibi ruh hallerine yönelik öneriler yapıyor. Bu bildiride anlatılan çalışma ile aradaki en büyük fark ruh halinin yalnızca kullanıcı tarafından seçilmesi. Çalışmada ise ruh hali; kullanıcının seçimine bırakılabildiği gibi, görüntü işleme aracılığıyla kullanıcının yüz ifadesi algılanarak belirlenip ona göre içerik önerisi getirilmektedir. Bununla birlikte A Good Movie To Watch, kullanıcılara herhangi bir mobil uygulama sunmuyor. Yalnızca web sitesi üzerinden hizmet veriyor (A Good Movie to Watch, 2021).

2.2. Flickseeker

Flickseeker (Flickseeker, 2021), A Good Movie To Watch ile oldukça benzer bir arayüze sahip olmakla birlikte yalnızca film önerisi sunar. Önerilen filmler eleştirmenlerin ya da diğer profesyonellerin verdiği puanlara değil, diğer Flickseeker kullanıcılarının his ve yorumlarına bağlı olarak seçilir. Film etiketleme görevi, filmi izleyen kullanıcılara verilir. Flickseeker ekibinin düşüncesine göre bu, Flickseeker platformunu benzersiz ve etkili kılmaktadır (Flickseeker, 2021).

Flickseeker sitesinde tam 50 adet his yer almaktadır. Bu da A Good Movie To Watch platformundaki his sayısının hemen hemen 2 katına eşittir. Kullanıcılar Flickseeker’da film ararken birden fazla his işaretlemesi yapabilir. Yani aynı anda hem dram hem de gerçek hayat hikayesi içeren filmler listelenebilir. Tüm bunlar kullanıcıların filme verdikleri etiketler sayesinde gerçekleşir (Flickseeker, 2021).

Bu bildiride bahsedilen çalışmada ise, ruh hali için kullanıcının o anki yüz ifadesi kullanılabildiği gibi kullanıcı ruh halini kendi de seçebilmektedir. Ancak Flickseeker’da da A Good Movie To Watch’takine benzer şekilde ruh hali seçimi yalnızca kullanıcı tarafından elle yapılabilmektedir. Yine aynı şekilde Flickseeker, kullanıcılara yalnızca web sitesi üzerinden ulaşmaktadır.

2.3. FEELM

FEELM (Feelme, 2021), kendi deyimleriyle, insan gücüyle çalışan bir keşif platformudur. Kullanıcılarının film arama şeklini baştan aşağı değiştirmeyi amaçlamaktadır ve Flickseeker’a benzer şekilde bilgisayar algoritmalarını değil, insan gücünü tercih etmektedir. FEELM’in sunduğu arama yöntemi kategorilerin ve basit duyguların tamamen ötesine geçer. FEELM platformunda film ararken aksiyon, drama gibi kategoriler ve mutlu, depresif gibi ruh halleri yerini “geçmişle yüzleşiyormuş gibi hissediyorum” ya da “ateşle oynuyormuş gibi hissediyorum” gibi daha kompleks ifadelerle bırakmaktadır (Feelme, 2021).

FEELM platformunda yalnızca film önerisinde bulunulmamaktadır. Aynı zamanda önerilen filmin konusu, fragmanı, izleyici yorumları, bulunduğu dijital platformlar gibi filmseverler için büyük önem taşıyan bilgileri kullanıcılara sunar (Feelme, 2021).

FEELM, önceki iki örnekten farklı olarak kullanıcılara mobil uygulama desteği sunmaktadır. Ancak bu uygulama yalnızca iOS işletim sistemi ile çalışan cihazlar ile uyumludur.

2.4. Charmy

Charmy (Charmy, 2021), temelde bir sosyal medya platformudur. Kullanıcıların müzik, kitap, film ve diziler hakkında birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunmasını amaçlamaktadır. Bunun yanı sıra kullanıcılarına seçilen tür ya da önceden izlenip beğenilen film, dizi ve müziklere bağlı olarak liste oluşturan bir sanal asistan içermektedir. Benzer zevklere sahip kullanıcıları zaman akışında bir araya getirmekte ve bu kullanıcılar birbirlerine yeni önerilerde bulunarak etkileşime girmektedir. Charmy, hem bilgisayar algoritmalarını hem de insan etkileşiminin gücünü kullanan bir platformdur. Bu da kendisini diğer örneklerden ayıran önemli bir unsur olarak dikkat çekmektedir (Charmy, 2021).

Charmy Asistan ile film ve dizi önerisi almak için kullanıcının ilk olarak daha önceden izleyip beğenmiş olduğu film ve dizileri seçmesi gerekmektedir. Sonrasında tür belirleyerek ya da yapay zeka kullanan asistan aracılığıyla liste oluşturulmaktadır (Charmy, 2021).

Müzik önerilerinde film ve diziden farklı bir nokta vardır ve bu nokta Charmy'i Moodie'ye yaklaştıran bir özelliktir. Müzik önerisi almak için film ve dizide olduğu gibi tür seçimi ya da otomatik liste özellikleri kullanılabilir. Bunun yanı sıra kullanıcı o anda çekeceği bir özçekim ile ruh halinin Charmy Asistan tarafından belirlenmesini isteyebilmektedir. Charmy Asistan, çekilen fotoğraftan ruh halini algılıyor ve buna göre bir müzik önerisinde bulunuyor (Charmy, 2021).

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada anlatılan mobil uygulama, Android tabanlı mobil cihazlarda çalışacak şekilde Java programlama dili ile geliştirilmiştir. Bu geliştirim esnasında nesne tabanlı programlama ilkelerine bağlı kalmıştır. Geliştirim için Google'ın entegre geliştirme ortamı olan Android Studio IDE'si kullanılmıştır.

İçeriklere ait bilgiler, Google Cloud üzerinde çalışan bulut tabanlı bir veri tabanı servisi olan Google Cloud SQL ile saklanmaktadır. Veri tabanının bulut tabanlı olması sayesinde veri tabanına yeni içerikler eklendiğinde veya var olan içeriklerin bilgileri güncellendiğinde kullanıcının hiçbir ek işlem yapmadan bu içeriklere ve güncel bilgilere erişmesi sağlanmış olur.

Uygulamanın görüntü işleme kısmında yüz ifadesini tanımlayabilmek için FER (Shenk, 2021) kütüphanesini kullanan bir Python servisi oluşturulmuştur. Bu Python servisi Flask ile bir web servise dönüştürülmüş ve bu sayede mobil uygulama üzerinden uzaktan erişim imkanı sağlanmıştır. Mobil uygulama ile web servisi arasındaki iletişim HTTP POST metodu üzerinden sağlanmaktadır. Gönderilen veri Base64 kodlama şeması kullanılarak şifrelenip POST metoduna iletilmektedir.

3.1. Android

Android, Google ve Open Handset Alliance tarafından geliştirilen, mobil cihazları hedef alan, Linux tabanlı, ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir işletim sistemidir. Açık kaynak kodlu olmasına rağmen ufak ama önemli bir bölümü Google tarafından kapalı tutulmaktadır (Amadeo, 2018). Linux çekirdeği üzerine inşa edilen Android'de uygulama yazılımları, Apache Harmony üzerine kurulu Java uyumlu kütüphaneleri içine alan uygulama iskeleti üzerinden çalışmaktadır. Android, derlenmiş Java kodunu

çalıştırmak için dinamik çevirmeli Android Runtime (ART) kullanır (Android, 2021b).

Uygulamalar genellikle Android SDK aracılığıyla Java ya da Kotlin programlama dili kullanılarak geliştirilir. Bir SDK, belli bir platform için uygulama üretmeyi sağlayan yazılım geliştirme araçlarından oluşan yazılımdır. Android SDK geliştiricilere kapsamlı bir geliştirme aracı seti sunar. Bunların arasında hata ayıklayıcı, kitaplıklar, belgeler, örnek kodlar ve öğreticiler bulunmaktadır (Android, 2021a). Android SDK, Windows, MacOS ve Linux ile uyumludur. Böylece geliştiriciler uygulamalarını bu platformların herhangi birinde geliştirebilirler.

3.2. Google Cloud SQL

Google tarafından sunulan Google Cloud, Google'ın Arama, Gmail, Drive ve YouTube gibi son kullanıcı ürünleri için dahili olarak kullandığı altyapı üzerinde çalışan bir bulut bilişim hizmetleri paketidir (Google Inc., 2021c). Kullanıcılarına basit web sitelerinden karmaşık uygulamalara kadar birçok çeşitte yazılım geliştirme imkanı sağlar (Google Inc., 2021a). Google Cloud; IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) ve sunucusuz bilgi işlem ortamları sunar.

Google Cloud SQL, MySQL, PostgreSQL ve SQL Server için tam olarak yönetilebilen ilişkisel veri tabanı hizmetidir (Google Inc., 2021b). Veri tabanının güvenilir, güvenli ve ölçeklenebilir olmasını otomatik olarak gerçekleştirir. Kurulumu, kullanımı, yönetimi ve bakımı kolaydır. Cloud SQL kullanıcının konumunu gözetmeksizin dünyanın her yerinde %99,95'in üzerinde bir kullanılabilirlik sağlar. Tüm bunlarla birlikte yedekleme, çoğaltma, şifreleme ve kapasite artırma işlemlerini otomatik olarak yapabilir.

3.3. Görüntü İşleme

İki boyutlu bir görüntünün birtakım bilgisayar algoritmaları tarafından işlenerek istenen hale getirilmesine "Görüntü İşleme" denir. Görüntü işleme teknolojisi sayesinde kullanıcının elinde bulunan her görüntü kullanım amacına uygun olacak şekilde özelleştirilebilir (Çümen, 2020). Görüntü işleme ile görüntü iyileştirme, görüntü analizi, kenar belirleme, bölütleme, tanıma gibi işlemler kolayca yapılabilir duruma gelmiştir. Günümüzde güvenlik, trafik, savunma sanayi ve tıp başta olmak üzere çokça alanda kullanılmaktadır.

3.4. FER

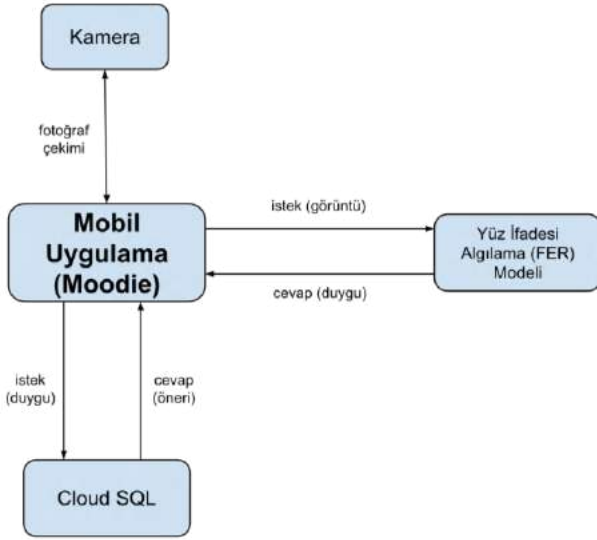
FER (Face Emotion Recognizer), Justin Shenk tarafından geliştirilen bir Python kütüphanesidir. Keras modelini paketler. Kütüphane içeriğinde HDF5 uzantılı bir dosya bulunmaktadır (Shenk, 2021). Model, bu dosyaya kaydedilen ağırlıklara sahip bir evrişimli sinir ağıdır. Modelde yüz algılama işlemi varsayılan olarak OpenCV'nin Haar Cascade sınıflandırıcısı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Daha doğru ve etkili sonuçlar elde edebilmek için kullanıcılara MTCNN (Multi-task Cascaded Convolutional Networks) ağını kullanma imkanı da tanınmıştır.

3.5. Flask

Flask, Python ile geliştirilmiş bir web çerçevesidir. Belirli araçlar veya kitaplıklar gerektirmez. Bu nedenle mikro çerçeve (micro framework) olarak sınıflandırılır. Kullanıcılara geliştirme sunucusu ve hata ayıklayıcı, birim testi için bütünleşmiş destek, güvenli çerez desteği, kapsamlı belgeler ve Google App Engine uyumluluğu gibi birçok özellik sağlar (Flask, 2021).

4. Moodie

Geliştirilen sistemin mimarisi Şekil 1’de görülmektedir. Gerekli analizler yapıldıktan sonra uygulamanın geliştirilmesine veri tabanının oluşturulmasıyla başlanmıştır. Veri tabanına internet üzerinden global bir şekilde erişilebilmesi açısından bulut bilişim hizmetlerinin kullanılması uygun bulunmuştur. Bu iş için seçilen bulut bilişim platformu, Google Cloud olmuştur. Google Cloud’un sunmuş olduğu Cloud SQL servisi üzerinde MySQL tabanlı bir veri tabanı yaratılmış, içerisine uygulamanın kullanacağı tablolar eklenmiştir. Daha sonra ücretsiz API desteği sunan TheMovieDB (TMDb, 2021) sitesinden alınan API anahtarı ile Moodie veri tabanına aktarılmak üzere birçok film ve bu filmlerle ilgili bilgiler elde edilmiştir.



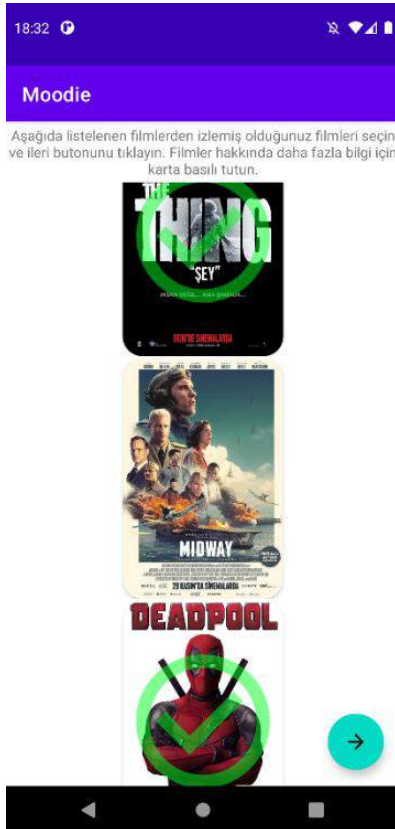
Şekil 1. Sistem mimarisi

Veri tabanında duyguların filmlerle eşleştirilmesi yerine türlerle eşleştirilmesi daha uygun bulunmuştur. Bu sayede veri tabanının daha az yer kaplaması ve daha az masrafa yol açması sağlanmıştır. Sorguların daha hızlı çalışacak olması da son kullanıcı tarafındaki önemli avantajlardan biridir.

FER modeli, Flask tabanlı bir Python kodu üzerinde çalışmaktadır. Uygulama, Flask’ta tanımlanan bir web adresine HTTP POST metodu aracılığıyla görüntünün kodlanmış halini iletmektedir. Model ise POST metodundan gelen bu argümanı okuyup Python’ın hazır kütüphanelerinden olan Base64 kütüphanesi ile kodlanmış veriyi çözerek işleme başlamaktadır. FER kütüphanesinin varsayılan ayarlarında yüz algılama için Haar Cascade sınıflandırıcısı kullanılmasına rağmen daha yüksek başarı sağlayabilmek amacıyla modelde MTCNN aktif hale getirilmiştir. Analiz edilen yüz ifadesi geri döndürülerek uygulama ile model arasındaki iletişim tamamlanmış olur.

Geliştirilen kullanıcı arayüzünün kullanıcı dostu olması amaçlanmıştır. Bu nedenle basit ve anlaşılır bir arayüz hazırlanmıştır.

Moodie, kendisiyle aynı amacı taşıyan uygulamalara göre daha da geliştirilebilir özelliklere sahiptir. Her kullanıcının farklı bir film tercihi bulunabilir. Moodie, veri tabanındaki eşleşmeye bağlı olarak ruh haline göre film türü önerisinde bulunmaktadır. Üzgün kullanıcıya dram filmi önerilmesi buna bir örnektir. Bunun sebebi Moodie’nin, kullanıcıların duygularını yoğun bir şekilde yaşamalarını hedeflemesidir. Ancak her kullanıcının talebi bu yönde olmayabilir. Halihazırda üzgün bir kullanıcı komedi filmi izleyerek mutlu bir ruh haline bürünmek isteyebilir. Moodie’ye her duygu için getirilebilecek “mutluyken ne izlersin?” gibi bir özellik sayesinde öneriler, kullanıcılar için özelleştirilebilir hale getirilebilir.



Şekil 2. İzlenen filmleri seçme ekranı



Şekil 3. Moodie ana ekranı



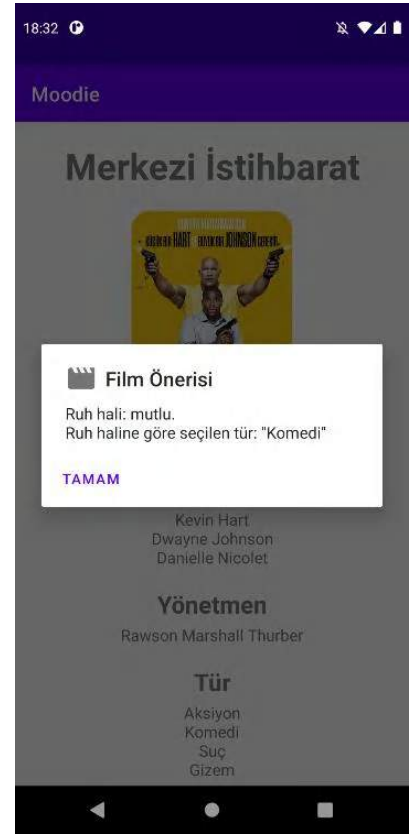
Şekil 4. Film bilgi ekranı



Şekil 5. Ruh hali seçme ekranı



Şekil 6. FER modeline gönderilen görüntü



Şekil 7. FER modelinden gelen sonuca göre önerilen tür bilgisi

5. Durum Çalışması

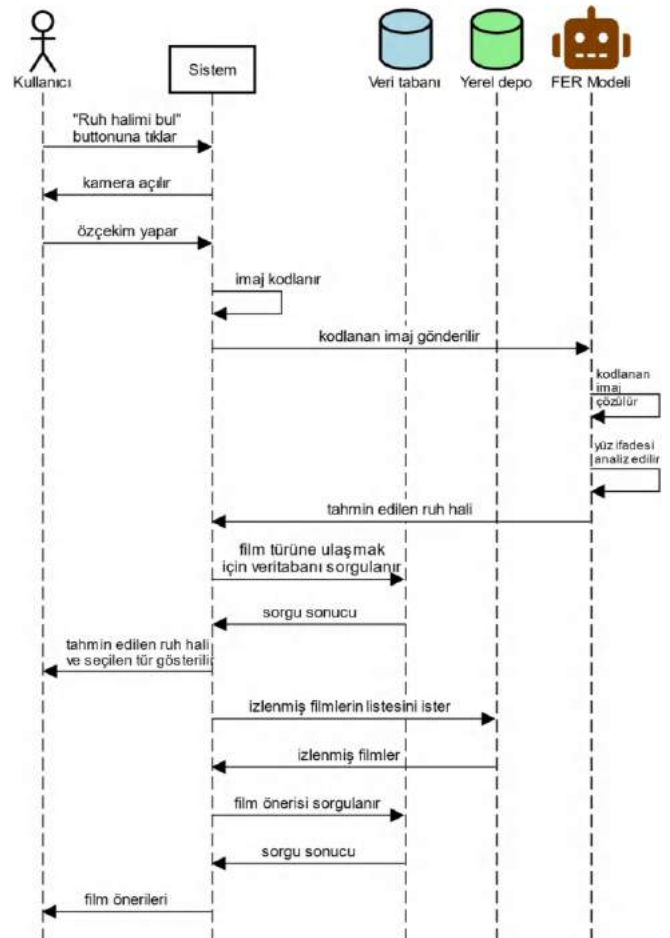
Bu bölümde, geliştirilen mobil uygulamanın kullanımı örnek senaryolar ile anlatılmaktadır.

İlk çalıştırma sırasında uygulama, kullanıcıdan kamera kullanma izni ister. Şekil 2'de görülmekte olan izlenen filmleri seçme ekranında sade bir görüntü elde edilebilmesi açısından yalnızca film afişleri bulunmaktadır. Karmaşık, anlaşılamayan veya başka filmlerle karıştırılabilecek afişlere sahip filmlerin bulunma ihtimaline karşın kullanıcılara bir bilgi kutucuğu da sunulmuştur. Kullanıcıların bu bilgi kutucuğuna erişebilmeleri için ilgili filmin afişine basılı tutmaları yeterlidir. İzlenebilecek bu yol, kullanıcılara bir yardım metni aracılığıyla aktarılmaktadır.

Şekil 3'te görülmekte olan uygulamanın ana ekranı oldukça sade bir görünüme sahiptir. Ana ekranda farklı renkte 3 buton bulunmaktadır. Kullanıcı istediği işlemi rahatlıkla seçebilir.

Seçilebilecek ilk işlem rastgele film önerisi almaktır. Arka planda gerçekleşen işlemlerin ardından, kullanıcı Şekil 4'te görülen filmin bilgi ekranına yönlendirilir. Bu ekranda filmin afişi, adı, başrolleri, yönetmeni, türleri, yılı ve ülkesi yer almaktadır. Bu bilgi ekranı standarttır ve diğer 2 işlemin sonucunda da kullanıcının karşısına çıkar.

Ana ekrandaki bir diğer işlem ruh hali seçmektir. Bu seçenek seçildikten sonra kullanıcı Şekil 5'te görülen mutlu, üzgün, kızgın, nötr, korkmuş, iğrenmiş ve şaşkın olmak üzere FER modeli tarafından desteklenen 7 duyguyu görebilmektedir. Bu duygular arasında seçim yapan kullanıcı tercih ettiği duyguya bağlı olarak seçilen film türü hakkında bilgilendirilir. Daha sonra filmin bilgi ekranıyla karşılaşmaktadır.



Şekil 8 Kullanıcı ve sistem arasındaki etkileşim

Moodie'nin son işlemi, aynı zamanda asıl işlevi olan kameradan ruh hali algılamadır. Daha önceden kamera izni verilmemişse bu izin yeniden istenir ve kamera açılır. Şekil 6'da görüldüğü gibi kullanıcı bir özçekim yapar ve bu özçekimi onaylar. Sistem, yapılan özçekimi Base64 kullanarak kodladıktan sonra FER modele iletir. FER modelinden gelen sonuca göre ilgili türdeki bir film Şekil 7'de görüldüğü gibi kullanıcıya önerilir. Seçilen filmin bilgi ekranı kullanıcıya gösterilir. Kameradan ruh hali algılama ve film önerisinde bulunma işleminin gerçekleştirilmesi Şekil 8'de etkileşim diyagramı ile gösterilmiştir.

6. Sonuç

Bu çalışmada, kullanıcılara, duygu ve ruh hallerine uygun dizi, film ve müzik önerileri yapılması hedeflenmektedir. Özellikle günümüzde yüksek bir hızla artan dijital içerikler arasında tercih yapmak oldukça zorlaşmıştır. Moodie ile hem ruh haline uygun içerikler izlenebilir, hem de içerik seçme aşamasında kaybedilen süreler telafi edilebilir.

Moodie bu sektörde ortaya atılan ilk uygulama olmamakla beraber diğer uygulamalara göre birtakım farklılıklar da içermektedir. Bazı platformlar yalnızca ruh hali seçimi, bazı platformlar yalnızca rastgele öneriler sunarken Moodie bu ikisinin yanında bir de yüz ifadesinden ruh hali algılama özelliğini eklemiştir.

Moodie'nin artlarından bir diğeri ise içeriklerin geliştirici tarafından kontrol edilebiliyor olmasıdır. Bu sayede içerik kalitesinin düşmesinin önüne geçilebilir. Düşük puanlı ya da gereğinden fazla şiddet içeren filmler gibi çoğu kullanıcının izlemekten kaçınacağı içeriklerin veri tabanında yer almaması, bu içeriklerin kullanıcılara önerilmeyeceği anlamına gelmektedir. Bunun yerine klasikleşmiş eserlerin ya da önceden beğenilen bir filmin yeni çıkmış devam filminin veri tabanında bulunması içerik kalitesini artırabilecek etkenlerdir.

Kaynakça

- A Good Movie to Watch. (2021). About - A Good Movie To Watch. Retrieved from <https://agoodmovietowatch.com/about/>
- Amadeo, R. (2018). Google's iron grip on Android: Controlling open source by any means necessary. Retrieved from <https://arstechnica.com/gadgets/2018/07/googles-iron-grip-on-android-controlling-open-source-by-any-means-necessary/>
- Android. (2021a). Android Platform. Retrieved from <https://developer.android.com/about>
- Android. (2021b). Application Fundamentals - Android Developers. Retrieved from <https://developer.android.com/guide/components/fundamentals>
- Babanne, V., Borgaonkar, M., Katta, M., Kudale, P., & Deshpande, V. (2020). Emotion based personalized recommendation system. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(8), 701-705.
- Charmy. (2021). Charmy. Retrieved from <https://charmmy.app/>
- Çümen, G. (2020). Görüntü İşleme Teknolojisi (Image Processing). Retrieved from <https://medium.com/@gizemcumen85/g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BC-İ%C5%9Fleme-teknolojisi-image-processing-262bb58fbb27>

- Feelm. (2021). Feelm - Films for the way you feel. Retrieved from <https://feelm.com/about>
- Flask. (2021). Foreword - Flask Documentation. Retrieved from <https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/foreword/>
- Flickseeker. (2021). Frequently Asked Questions - Flickseeker. Retrieved from <https://flickseeker.com/faqs>
- Google Inc. (2021a). Cloud Computing Services. Retrieved from <https://cloud.google.com/>
- Google Inc. (2021b). Cloud SQL. Retrieved from <https://cloud.google.com/sql>
- Google Inc. (2021c). Why Google Cloud. Retrieved from <https://cloud.google.com/why-google-cloud/>
- Mariappan, M. B., Suk, M., & Prabhakaran, B. (2012). *FaceFetch: A User Emotion Driven Multimedia Content Recommendation System Based on Facial Expression Recognition*. Paper presented at the 2012 IEEE International Symposium on Multimedia.
- Metilda Florence, S., & Uma, M. (2020). Emotional Detection and Music Recommendation System based on User Facial Expression. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912.
- Sharma, P. (2020). Multimedia Recommender System using Facial Expression Recognition. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(5), 674-676.
- Shenk, J. (2021). FER. Retrieved from <https://pympi.org/project/fer/>
- Statista. (2019). Share of global smartphone shipments by operating system from 2014 to 2023. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/272307/market-share-forecast-for-smartphone-operating-systems/>
- TMDB. (2021). API Overview - The Movie Database. Retrieved from <https://www.themoviedb.org/documentation/api>



Effect of Mechanical Properties on Carbon Nanotubes, Nanoclays Reinforced Epoxy Carbon Fabric Composite Pipes

Bülent Karaoğlu^{1*}, Hüseyin Arıkan², Mehmet Kayırcı³

^{1*} Necmettin Erbakan University, The Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7872-4071), bulentkaraoglu2@gmail.com

² Necmettin Erbakan University, Faculty of Seydişehir Ahmet Cengiz Engineering, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1266-4982), harikan@erbakan.edu.tr

³ Necmettin Erbakan University, Faculty of Seydişehir Ahmet Cengiz Engineering, Department of Mechanical Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1178-5168), mkayirci@erbakan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.995135)

ATIF/REFERENCE: Karaoğlu, B., Arıkan, H. & Kayırcı, M. (2021). Effect of Mechanical Properties on Carbon Nanotubes, Nanoclays Reinforced Epoxy Carbon Fabric Composite Pipes. *European Journal of Science and Technology*, (28), 198-206.

Abstract

Generally, the nanofillers increase the mechanical and impact behaviors of fiber reinforced polymer based composites. However, the effects of the hybridization of nanofillers and their reasons over the nano scale damage mechanisms have not been adequately studied for fabric reinforced composites. The low velocity impact responses and mechanical properties of carbon nanotubes, nanoclays particles reinforced epoxy carbon fabric composite pipes have been evaluated in this study. Carbon fabric composite pipes have been prepared with 1, and 3 wt % of carbon nanotube and 1, and 3 wt% of nanoclay particles and unfilled nanofillers, using hand lay-up technique. Mechanical properties of low velocity impact for carbon nanotubes (MWCNT), nanoclays particles reinforced epoxy carbon fabric composite pipes have been obtained as a function of content of nanofillers particles. The low-velocity impact tests applied on composite pipes for energy levels 5 J, 10 J, and 15 J according to in accordance with ASTM D7136 / D7136 M-12 standards. It was observed that carbon nanotubes (MWCNT) and nanoclay nanofillers addition to Carbon Fabric/Epoxy for 5J, 10 J and 15 J showed maximum force, absorbed energy and the lowest displacements and rebound energy. MWCNTs and nanoclays nano-hybrid addition to Carbon Fabric/Epoxy improved higher low velocity impact responses than none nanofillers addition. The specimens of unfilled nanofillers Carbon Fabric/Epoxy composites showed the lowest maximum force, highest displacements and rebound energy. The results show that the mechanical properties are found to increase substantially with increasing carbon nanotube (MWCNT) and nanoclays particles with Carbon Fabric/Epoxy composite pipes.

Keywords: Composite pipe, Fabric, Epoxy, Carbon nanotubes (MWCNT), Nanoclay, Fabrication, Impact, Damage, ASTM.

Karbon Nanotüp ve Nanokil Takviyesinin Epoksi Karbon Kumaş Kompozit Boruların Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Öz

Genel olarak nano dolgular, fiber takviyeli polimer esaslı kompozitlerin mekanik ve darbe davranışlarını artırır. Bununla birlikte, nano dolgu maddelerinin hibridizasyona etkileri ve bunların nano ölçekli hasar mekanizmaları üzerindeki nedenleri, kumaş takviyeli kompozitler için yeterince çalışılmamıştır. Bu çalışmada karbon nanotüpler, nanokil partikülleri takviyeli epoksi karbon kumaş kompozit boruların düşük hızlı darbe tepkileri ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Karbon kumaş kompozit borular, ağırlıkça %1 ve 3 karbon nanotüp ve ağırlıkça %1 ve 3 nanokil parçacıkları ve nano madde dolgusuz olarak, elle yatırma tekniği kullanılarak

* Corresponding Author: bulentkaraoglu2@gmail.com

hazırlanmıştır. Karbon nanotüp (MWCNT), nanokil takviyeli epoksi karbon kumaş kompozit borular için düşük hız darbe etkileri ve mekanik özellikleri, nanodolgu partiküllerin içeriğinin bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. ASTM D7136 / D7136 M-12 standartlarına göre 5 J, 10 J ve 15 J enerji seviyeleri için kompozit borulara düşük hızlı darbe testleri uygulanmıştır. 5J, 10 J ve 15 J için Karbon Kumaş/Epoksi'ye ilave edilen karbon nanotüpler (MWCNT) ve nanokil nanodolgu larının, maksimum kuvvet, emilen enerji ve en düşük yer değiştirme ve geri tepme enerjisi gösterdiği gözlemlendi. Karbon Kumaş/Epoksi'ye ,MWCNT ve nanokil gibi nanohibrit ilavesi ise nano dolgu maddesi ilavesi olmayandan, daha yüksek düşük hızlı darbe tepkileri oluşturdu. Nano dolgu maddeleri eklenmemiş Karbon Kumaş/Epoksi kompozit örnekleri, en düşük maksimum kuvvet, en yüksek yer değiştirmeleri ve geri tepme enerjisini gösterdi. Sonuçlar, Karbon Kumaş/Epoksi kompozit borular ile karbon nanotüp (MWCNT) ve nanokil parçacıklarının artmasıyla mekanik özelliklerin önemli ölçüde arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit boru, Kumaş, Epoksi, Karbon nanotüpler (MWCNT), Nanokil, İmalat, Darbe, Hasar, ASTM.

1. Introduction

Today's world, human need new materials for using in their lifelong. Composite materials have been used by the people of earlier civilization since many centuries. One of good example include the preparation of bricks for building construction using straw and mud [1 - 5]. Engineering materials design with two or more parts are produces composites materials in macro scales [6 - 9]. Composite materials combine matrix materials with reinforced parts that holding the perfect physical or chemical properties of each component [10].

Fiber reinforced polymer (FRP) composite materials are being considered for replacing the metallic components in aviation, naval and automotive industries. Compared to metal, FRP composites have low density, higher specific strength and stiffness, higher corrosion resistance and improved fatigue performance.

Performance of these FRP's under various loading condition; such as axial, torsional and impact loading are very crucial for the design of structural components. Mechanical properties of fiber reinforced polymer composites depend on the fiber, matrix and the interface between them. Researchers have been investigating various organic and inorganic nanoparticles as reinforcement of composites to improve the mechanical properties and thermal stability [11,12]. Significant development in the use of nanoparticles for modification of epoxy matrix has led to improved mechanical properties of the FRP composites. The advantages of nanoparticles are their high specific strength and modulus along with low density. As a result, very low percentage of nanoparticles addition can enhance the properties of composites significantly [13 - 15].

Composite carbon reinforced pipes (CRP) include nano fillers that have good mechanical properties for engineering application compared to metals materials. Some of nano fillers are carbon nanotube and nanoclays. Carbon nanotubes (CNT) are predominately effective in mechanical properties such as tensile strength and Young's modulus. The tensile strength of CNTs is due to the covalent sp² bond between the neighbouring existing carbon atoms. Due to the C-C bonds in the lattice, CNT's are expected to achieve high Young's modulus in the axial direction. Young's modulus of MWCNT's (multiwall CNT) is 1.2 TPa. Clay deposits composed of clay minerals (phyllosilicate minerals). Clay is a naturally occurring mineral composed

primarily of fine grained minerals. These minerals shows plasticity owing to variable water content and on drying or fired can be hardened. Nanoclays is the good example of naturally occurring nanomaterials which are generally used for a clay mineral having a phyllosilicate or sheet structure with a thickness of about 1 nm and surfaces about 50–150 nm in one dimension. Nanoclays are thus the general term for the layered mineral silicates nanoparticles having high aspect ratio. Depending on morphology of nano particles and chemical composition nanoclays are arranged into various classes such as illite, halloysite, bentonite, kaolinite, montmorillonite, hectorite and chlorite [16 - 19]. These days the growing concern towards the utilization of renewable materials as filler in the matrix highlights greatly the importance of layered silicates clay minerals as nano filler owing to its availability and versatility [20 - 24]. Toyota research group in the early 90s, proclaimed the first use of nanoclays reinforcement in the manufacturing of nylon-6-based nanoclay composites. According as the process conditions and polymer/nanofillers bonding the layered silicates dispersed into the polymer matrix in different states of intercalation and/or exfoliation. Polymer nanoclay composites comprise the interaction of polymer matrix with the nano-plates of clay, and their formed by the dispersion of low weight percentages of nanoclay into polymers. Nanoclay reinforced polymer composites and their laminates have perfect properties including enhanced physical like optical, dielectric, permeability ,transparency and lower shrinkage, and thermal like decomposition temperature, flammability, coefficient of thermal expansion and higher thermal stability. Their have mechanical properties like tensile toughness, tensile strength and tensile modulus, even at a very low filler loading with respect to pure polymers [25 - 29]. Polymer nanoclay composites are one of the most hopeful alternatives to steel and wood based polymer composite, firstly developed for the aerospace industry [30,31].

Normally, composite pipe made by fiber winding. Although, our composite pipes are making by carbon fabric wound that fast and economically. This work, in low-speed impact tests, with the increase of impact energy, the maximum contact force, displacement amount and contact time between the striker and the sample increase on the CRP composite pipe sample. The contact force-displacement and energy-impact energy variations obtained from the impact experiments show that the amount of energy absorbed by the sample increases with the increase of the impact energy when the ratio of the amount of energy absorbed to the impact energy is examined.

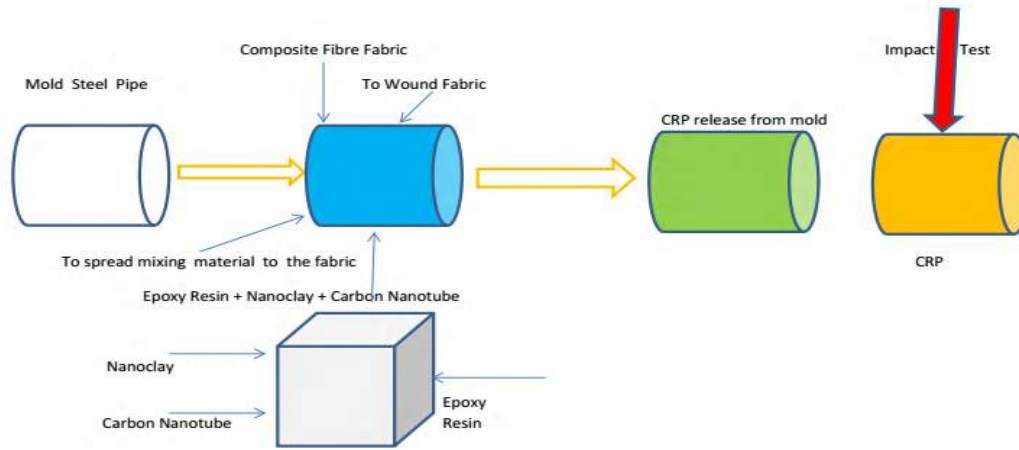


Figure 1 The simple flowsheet of composite reinforced pipe (CRP) manufacture.

2. Material and Method

2.1. Experimental Procedure

2.1.1 Raw Materials:

Mold : Steel with shine outer surface, length 1300 mm, diameter 72 mm, thickness 4 mm.

Nanoclay : White, Montmorillonite type , 38 - 40 Å°, Angstrom, between two layers.

Nanotube : Carbon MWNT (multiwall nanotube), Purity (>95% carbon nano tube), Diameter 10-20 nm.

Carbon Texture: Carbon fiber fabric, bi-axial +45/-45 degrees, 300 gr/m² , Tensile strenght: 3800 MPa, Modulus of elasticity: 240 GPa , Density: 1.79 g/cm³ .

Epoxy Resin : Hexion LR160 ,hardener LH160, weight ratio 100:25. Density: 1.18-1.20 g/cm³, Flexural strength: 110-140 N/mm², Modulus of elasticity: 3.2-3.5 kN/mm², Tensile strength: 70-80 N/mm², Compressive strength: 80-100 N/mm², Impact strength: 40-50 KJ/m².

2.2. Fabrication

Composite pipes were manufactured taylor-made by hand lay-up method that based on carbon fabric wound by me in the composite laboratory of Necmettin Erbakan University Ahmet Cengiz Engineering Faculty, Seydischir, Konya. The simple flowsheet of composite reinforced manufacture is view in Figure 1. Composite pipe manufacture need a mold.The mold is preparing from steel with shine (length 1300 mm, diameter 72 mm, thickness 4 mm) in Figure 2.

Composite pipes have four different ingredients which based on same epoxy resins include hardener (600 gr epoxy, 150 gr hardener) and carbon fiber texture (1.5 m).

The first pipe has no filler adding, the second pipe on based mass weight percent resin has 6 gr,or 1 wt% CNT with 6 gr, or 1 wt% nanoclay and the third pipe has 6gr, or 1wt% CNT with 18 gr, or 3 wt% nanoclay , and last the fourth pipe has 18gr, or 3 wt% CNT with 6 gr, or 1 wt% nanoclay.

The first pipe has no filler adding, the second pipe on based mass weight percent resin has 6 gr,or 1 wt% CNT with 6 gr, or 1 wt% nanoclay and the third pipe has 6gr, or 1wt% CNT with 18 gr, or 3 wt% nanoclay ,and last the fourth pipe has 18gr, or 3 wt% CNT with 6 gr, or 1 wt% nanoclay.



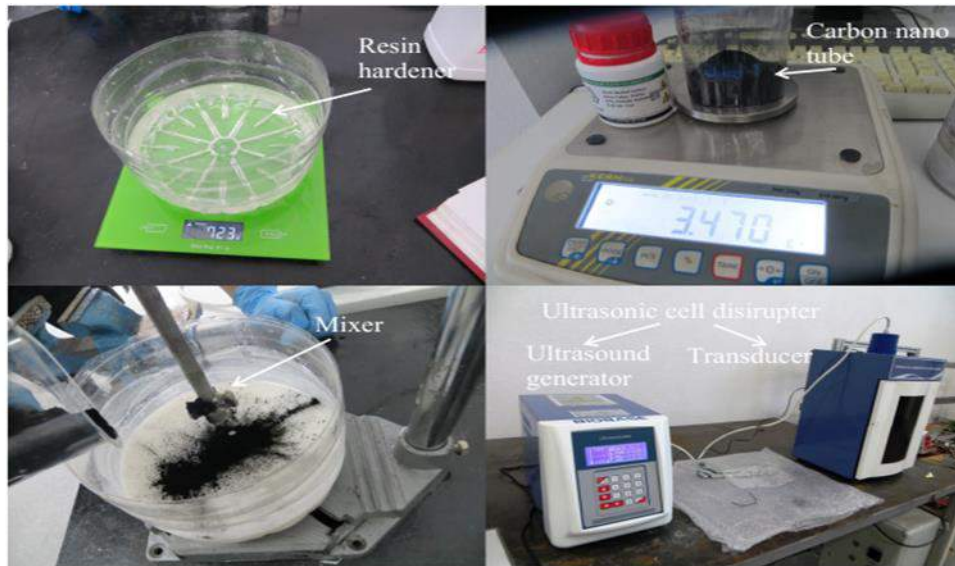
Figure 2 The steel mold with shine, L= 1300 mm, d= 72 mm, t= 4 mm.

All samples resins and fillers mixing mechanical , later mixing during 15 minutes with Ultrasonic Cell Disrupter UCD-650 for homogen mixtures in Figure 3.

Composite fiber fabric prepared by epoxy resin apply on carbon texture. Later,the carbon fabric wound six layer on mold by turning mechanism and applying resins hardener with nanofillers by brush in Figure 4.

After this step, the pipe put a package that no air leak. A vacuum system was take air from the package with composite pipe during one hour. Last step, the vacuum package with composite pipe were curing during 24 hours under vacuum in Figure 5.

So,one day later, the CRP pipe was take out package and mold. The CRP surfaces was smoothing by lathe and last step,it cuts in 30 cm parts for using in the impact experiments in Figure 6.



(a)

(b)

Figure 3 All resin hardener and CNT, nanoclay mixing mechanical (a), later by ultrasound (b).



Figure 4 Fabrication composite pipe CRP to wound texture on the mold.



Figure 6 Composite pipe sample has 30 cm length.



Figure 5 Vacuum process for CRP pipe after manufacture step.

3. Results and Discussion

3.1. Results

Determination of low velocity impact behavior of CRP pipes low-speed impact tests at different energy levels on test samples in Figure 7. Accordingly, impact tests were performed at low impact energies of 5 J, 10 J and 15 J carried out quickly. In order to obtain increased impact energy values, the striker height at which the mass will be deposited has been calculated theoretically. The striking was for 5 J energy level from a height of 0.9101 m, and for energy level 10 J from a height of 0.182 m. Last, it was dropped from a height of 0.273 m for energy level of 15 J. A impact was made in the middle of each sample with a hemispherical striker. In order to correlate the damage mechanisms in the sample after impact with impact energy, the first repeated impact were prevented by holding the striker mass after making the blow with automatic mechanism.

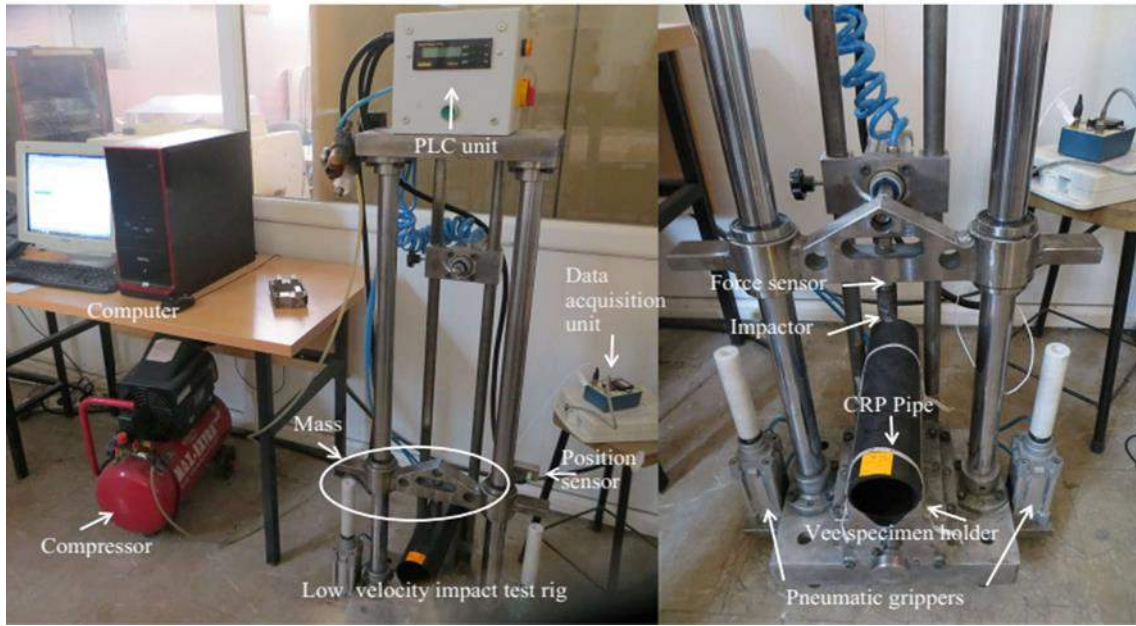


Figure 7 Low velocity impact test stand.

3.1.1 Low Velocity Impact Testing

Impact tests were carried out with a drop tower which has adjustable impactor height Figure 7. The impactor has a hemispherical shape (12 mm diameter, and 5.6 kg mass). The force variations have monitored by a sensor in millivolts scale. The impact tests were repeated 12 times at 5, 10 and 15 Joule (J) impact energy levels. Subsequently the signals have transmitted to the data acquisition card mounted in a PC.

Velocities of impacts were calculated from Kinetic Energy formula Equation (1). As a results calculations, impact velocities are 1.3363 m/s for 5 J and 1.8898 m/s for 10 J and 2.3145 m/s for 15 J.

$$\Delta K.E. = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

Fabricated composite pipes (CRP) testing mechanically based on ASTM D7136 / D7136 M-12, 2012, Standard Test Method Measurement Damage Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composites Drop Weight Impact [32 - 42].

3.1.2 Low Velocity Impact Testing Graphs

The force versus time are shown in the graph of change and also contact force versus displacement. Energy-time and energy-impact energy and impact force-impact velocity and velocity-time and changes were obtained as a result of the kinetic analysis of the low-speed impact with a Excel Macro VBA computer program.

Contact force-time change curves obtained from low-speed impact experiments are one of the graphs used to determine the impact behavior of composite materials. In Figure 8a.,b.,c., and d., under increasing impact energy, the contact force with respect to time, graphs showing the change are given.

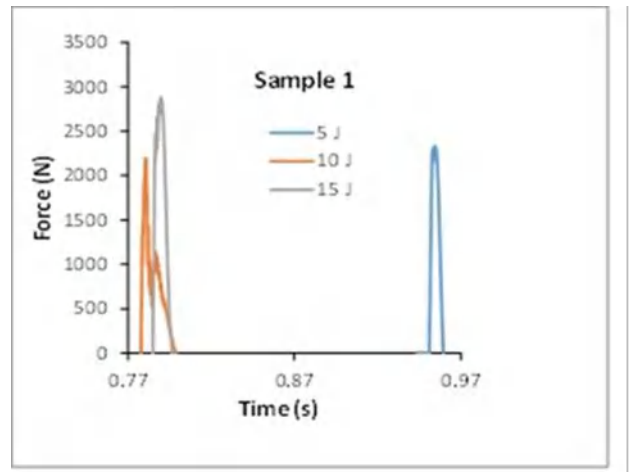


Figure 8a Force –Time graphs for Sample 1.

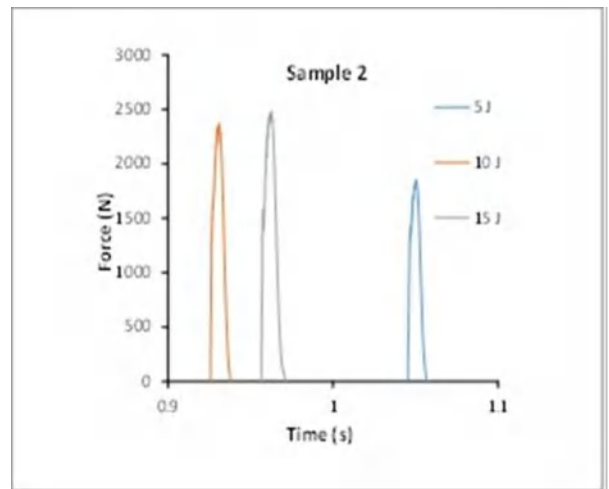


Figure 8b Force –Time graphs for Sample 2.

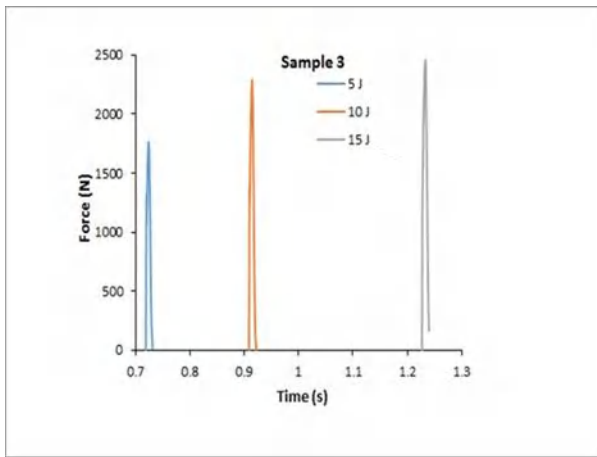


Figure 8c Force–Time graphs for Sample 3.

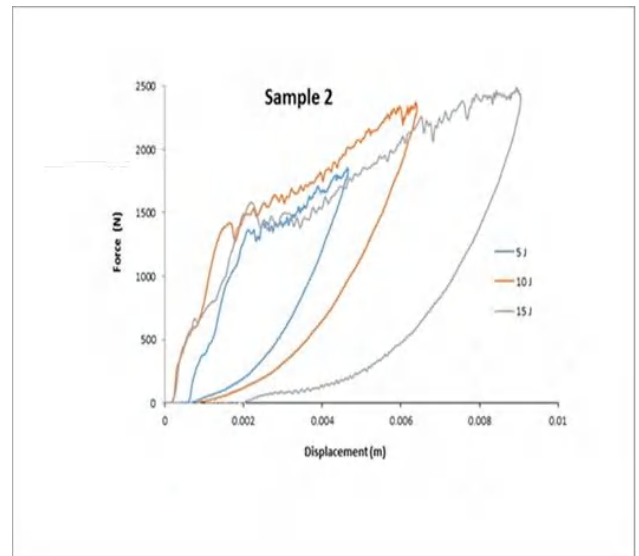


Figure 9b Force–Displacement graphs for Sample 2.

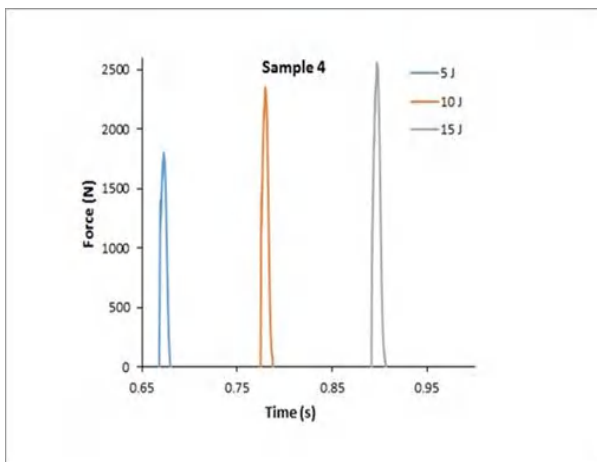


Figure 8d Force–Time graphs for Sample 4.

In Figure 9a. and 9b., shows force versus displacement for Sample 1 and 2 for all energy levels.

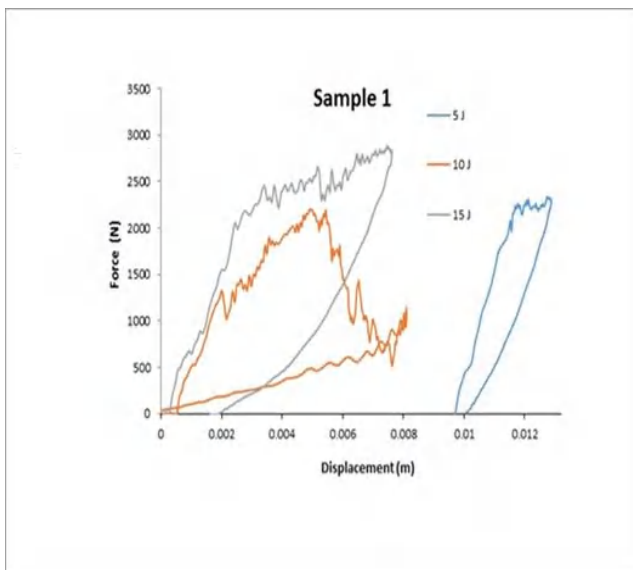


Figure 9a Force – Displacement graphs for Sample 1.

In Figure 10a. and 10b., shows Energy – Impact Energy graphs for Samples 1 and 2 for all energy levels.

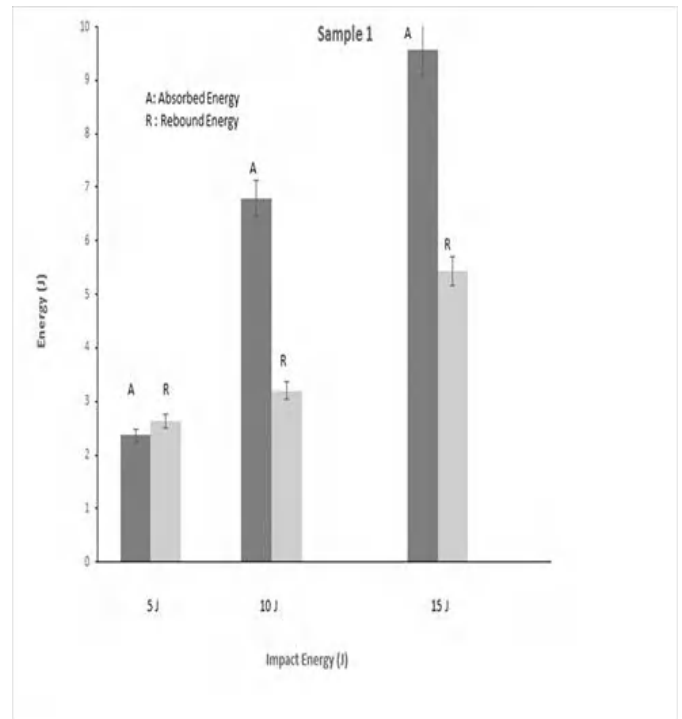


Figure 10a Energy – Impact Energy graphs for Samples 1.

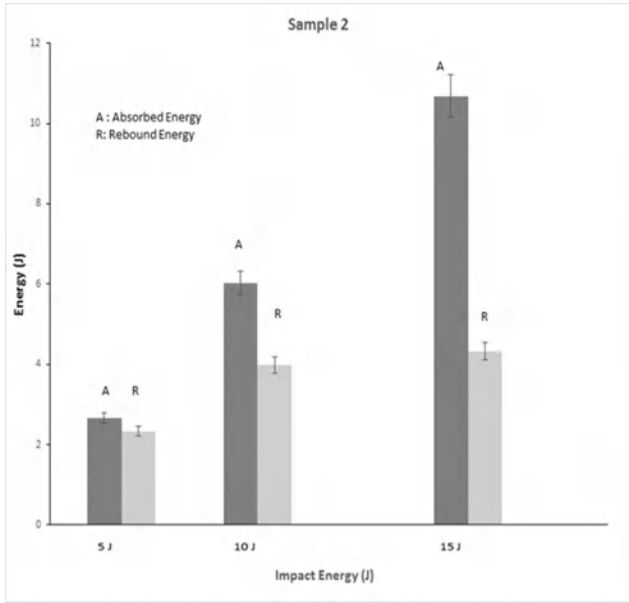


Figure 10b Energy – Impact Energy graphs for Samples 2.

And Table 1 is tabulating for Samples absorbed energy (%) results versus energy levels.

Table 1. Samples absorbed energy (%) results versus energy levels .

Energy Level	Sample 1 Absorbed Energy %	Sample 2 Absorbed Energy %	Sample 3 Absorbed Energy %	Sample 4 Absorbed Energy %
5 J	47.36	53.34	53.96	52.2
10 J	67.97	60.18	63.19	61.36
15 J	63.75	71.21	67.15	65.11

3.1.2 Damage Formation

In the Figure 11, we see macro damage pictures for Sample 1 and 2 at 10 J energy levels.



(a)



(b)

Figure 11 Damage pictures in macro scale: (a) Sample 1 at 10 J and (b) Sample 2 at 10 J.

3.2. Discussion

In Figure 8a.,b.,c., and d., it is view that the contact force-time changes obtained at the impact energies of 5 J, 10 J and 15 J are in the form of a rattle curve. Each curved load has an increase in the maximum force achieved value and also a reduction portion in unloading. All graphs were formed by the striker rebounding from the sample surface after contact with the sample. That is, most of the applied impact energy was absorbed by the sample. The rest of the energy absorbed was used to rebound the striker.

The slope in the increasing part of the force-displacement curve is called the bending stiffness due to the resistance of the specimen against the impact load (Fig.9a. and b.). Oscillations and changes in bending stiffness show the damage in the sample. There are serious changes in bending stiffness of composite CRP pipes, which are exposed to low-speed impact at different energy levels. As seen Figure 9a. and 9b., adding nanofiller like Sample 2, displacements seriously reduces all energy levels. For 5 J energy level, displacement reduces 0.012 m to 0.004 m, and at 10 J level, reduces 0.008 m to 0.0062 m. The area under the force-displacement graph gives the work done on the sample (the energy absorbed in the sample). As the impact energy increases, the area under the force-displacement curve increases, and accordingly, the sample is deflected. It is clearly seen in Figure 9a. and 9b. that the amount of absorbed energy has also increased.

In Figure 10a. and 10b. and Table 1 clearly shows that at 5 J energy level, Sample 1 absorbed 2.368 J and Sample 2 absorbed 2.667 J, less than 12.62 % from sample 2. Sample 1 absorbed 6.797 J and Sample 2 absorbed 6.018 J at 10 J energy level, more than 7.79 % from Sample 2. Last level, Sample 1 absorbed 9.563 J and Sample 2 absorbed 10.68 J, less than 7.46 % from Sample 2 at 15 J level. Adding nanofiller effect positively direction of composite pipes absorbed energy. If rebound energy increasing, composite pipes have crack and delamination on surfaces in Figure 11.

In the Figure 11, we see that adding nanofiller increase CRP pipe strength to damage. Sample 1 hasn't nanofillers and easily cracking and delamination at 10 J in Figure 11a. On the contrary, sample 2 has nanofiller and it has only major cracks in Figure 11b. The macro damage photo shows increase strength with adding equal mass percent multiwall carbon nano tube and nanoclay. In Figure 11a., big part take out from Sample 1 at impact point and longitudinal cracks occur. And in Figure 11b., Sample 2 surface shows major crack occur at impact point but no longitudinal cracks.

4. Conclusions and Recommendations

This work has very different specifications than fiber winding composite pipe. The composite pipes produced by carbon fiber fabric wound include resin with two nanofillers and testing four samples at three different energy levels. Carbon fabric composite pipe wound is fast, economic manufacture than fiber winding composite pipe [32]. Because, there are no prepreg and autoclave process in our hand lay-up method. In this study, displacements seriously reduces all energy levels when adding nanofiller like Sample 2 which at 5 J energy level, displacement reduces 0.012 m to 0.004 m, and at 10 J level, reduces 0.008 m to 0.0062 m. We see that, at 5 J energy level, Sample 1 absorbed 2.368 J and Sample 2 absorbed 2.667 J, more than 12.62 % (Figure 10). It has been determined at 15 J impact energy that 63.75% of the total energy for Sample 1, and 71.21 % of the total energy for Sample 2 and 67.15 % of the total energy for Sample 3, and 65.11 % of the total energy for Sample 4 are absorbed by the samples (Table 1). Energy back the remainder was spent on the striker's rebound from the sample.

As a result, nanofillers, nanoclay and carbon nanotube, contents have very effective on the CRP structure which increase absorbed energy level more than 7.46 % with nanofiller Sample 2 compared to non-nanofiller Sample 1 at 15 J energy level. The

content level of nanofiller must be equal mass like Sample 2. So, nanofillers reduce damage CRP pipes, effectively. Therefore, we compare differences fabric wound composite pipe with nanofillers to fiber winding composite pipe mechanical properties [32].

5. Acknowledge

This study was supported by the Coordinatorship of Scientific Research Projects at Necmettin Erbakan University with the project number 181431003.

References

- [1] Henderson L., 2019. Carbon Fibers and Their Composite Materials. MDPI.
- [2] Al-Samman T., 2019. Material and Process Design for Lightweight Structures. MDPI.
- [3] Marshall I. H., 1999. Composite Structures, 10th. International Conference. Elsevier. 47.
- [4] Burchell T. D., ed., 1999. Carbon Materials for Advanced Technologies. Elsevier.
- [5] Fitzer E., 1998. Reinforcements and Carbon Carbon Composites. Springer.
- [6] Bunsell A. R., 2005. Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials. IOP.
- [7] Advani S. G., 1992. Computer Aided Design in Composite Material Technology III. Elsevier.
- [8] Campbell F. C. Jr., 2004. Manufacturing Processes for Advanced Composites. Elsevier.
- [9] Burchell T. D., ed., 1999. Carbon Materials for Advanced Technologies. Elsevier.
- [10] Bai J., 2013. Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for structural applications. Elsevier.
- [11] Aliabadi M. H., 2015. Woven Composites. Imperial College Press.
- [12] Kompis V., 2008. Composites with Micro and Nano-Structure Computational Modeling and Experiments. Springer.
- [13] Suzuki S., ed., 2013. Syntheses and Applications of Carbon Nanotubes and Their Composites. Intech.
- [14] Loos M., 2015. Carbon Nanotube Reinforced Composites. CNR Polymer Science and Technology. Elsevier.
- [15] Islam M., 2015. Characterization Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites Modified Nanoclay Carbon Nanotubes. Procedia Engineering. 105:821-828.
- [16] Vaka M., 2021. Carbon Nanotubes and Their Composites From Synthesis to Applications. Contemporary Nanomaterials.
- [17] Yuan P., Bergaya F., eds., 2016. Nanosized Tubular Clay Minerals Halloysite- Imogolite. Elsevier.
- [18] Jawaid M., 2016. Nanoclay Reinforced Polymer Composites Natural Fibre Nanoclay Hybrid Composites. Springer.
- [19] Hashin Z., Herakovich C. T., 1983. Mechanics of Composite Materials. Recent Advances. Pergamon.
- [20] Hinton M. J., 2001. Failure Criteria in Fibre-Reinforced-Polymer Composites. Elsevier.
- [21] Voyiadjis G. Z., 1998. Damage Mechanics in Engineering Materials. Elsevier.
- [22] Talreja R., 2012. Damage and Failure of Composite Materials. Cambridge.
- [23] Talreja R., 2016. Modeling Damage, Fatigue and Failure of Composite Materials. Woodhead Publishing.

- [24] Jones N.,1993. Structural Crashworthiness and Failure.Elsevier.
- [25] Fink J. K.,2014. High Performance Polymers. 2nd. ed. Elsevier.
- [26] Daniel I. M.,1994. Engineering Mechanics of Composite Materials.Oxford.
- [27] Daniel I. M.,2006. Engineering Mechanics of Composite Materials. 2nd. ed.Oxford.
- [28] Herakovich C. T.,1998. Mechanics of Fibrous Composites.Wiley.
- [29] Dato M.,1991. Mechanics of Fibrous Composites. Springer.
- [30] Vautrin A.,Sol H ,ed.,1991. Mechanical Identification of Composites .Springer.
- [31] Mishnaevsky L. L.,2007. Computational Mesomechanics of Composites Numerical Analysis Microstructures Strength Damage Resistance.Wiley.
- [32] Kara M.,2012. Failure Behavior of Filament Wound GRP Pipes Under Internal Pressure Repaired With Patch After Low Velocity Impact.Ph.D. Thesis. Selcuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering.
- [33] Ji C.,2007. Impact Damage of 3D Orthogonal Woven Composite. Applied Composite Materials. Springer.14:343-362.
- [34] Shi Y. ,2017. Modelling low velocity impact induced damage in composite laminates.Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes.3;14:1-12.
- [35] François D., eds.,2002. From Charpy To Present Impact Testing.Elsevier.
- [36] Baucom J.,2005. Low-velocity impact damage progression in woven E-glass composite systems. Composites Part A. Elsevier.36:658-664.
- [37] ASTM D7136 / D7136 M-12, 2012. Standard Test Method Measurement Damage Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composites Drop Weight Impact. ASTM.
- [38] Abobo I. D.,2021. Effect of organoclay reinforcement on the mechanical and thermal properties of unsaturated polyester resin composites. Epitoanyag –Journal of Silicate Based and Composite Materials.2;73:63-67.
- [39] Islam, F.,2019. Mechanical and Interfacial Characterization of Jute Fabrics Reinforced Unsaturated Polyester Resin Composites. Nano Hybrids and Composites.25:22-31.
- [40] Kiani M., Parvaneh V., et al.,2020. Fabrication and investigation of the mechanical properties of PVC/carbon fiber/graphene nanocomposite pipes for oil and gas applications. Journal of Thermoplastic Composite Materials.1-16.
- [41] Jemii H., et al.,2017. Mechanical, thermal and physicochemical behavior of virgin and hydro-thermally aged polymeric pipes. Journal of Thermoplastic Composite Materials.1-21.



Examination of Daily Task Constraint in Technician Routing and Scheduling Problem

Engin Pekel^{1*}

^{1*} Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5295-8013), pekelc@hotmail.com, enginpekel@hitit.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.995415)

ATIF/REFERENCE: Pekel, E. (2021). Examination of Daily Task Constraint in Technician Routing and Scheduling Problem. *European Journal of Science and Technology*, (28), 207-212.

Abstract

This paper deals with a multi-term technician routing and programming problem with a different concept. The problem is that technicians with various skills form teams, and these teams perform the tasks that take in distinct locations. Technicians have daily duty capacities while performing tasks. The cases where overtime costs are allowed by combining different technician numbers are analyzed. Paper provides a single-purpose mixed integer programming method for modeling the problem because the model implemented aims to optimize the travel cost while simultaneously minimizing the amount of overwork. The main issue also specifies the division of technicians with different skills into teams, assignment of tasks with different skill requirements to teams, and routes for each team at the same time. The number of customers visited on a route within the daily customer limit. In addition, the model included exceeding the daily customer limit in the model and bound it to a constraint. The various combinations of the daily normal and over-work number of customers were evaluated and examined their effects on the objective function. Finally, the paper presents computational experiments and analyses to evaluate the efficiency of the proposed mathematical formulation and solution approach. The results show that daily task constraints are effective in employee selection and amount of use.

Keywords: Branch and bound, Minimization, Multi period, Technician routing, Technician scheduling.

Teknisyen Rotalama ve Çizelgeleme Probleminde Günlük Görev Kısıtlamasının İncelenmesi

Öz

Bu makale, farklı bir konseptte sahip çok dönemli bir teknisyen rotalama ve programlama problemini ele almaktadır. Sorun, çeşitli becerilere sahip teknisyenlerin ekipler oluşturması ve bu ekiplerin farklı konumlarda yapılan görevleri yerine getirmesidir. Teknisyenlerin görevleri yerine getirirken günlük görev kapasiteleri vardır. Farklı teknisyen numaralarının birleştirilmesiyle fazla mesai maliyetlerine izin verilen durumlar analiz edilmiştir. Çalışma, problemi modellemek için tek amaçlı bir karma tamsayı programlama yöntemi sağlar, çünkü uygulanan model ulaşım maliyetini optimize ederken aynı zamanda fazla çalışma miktarını da en aza indirmeyi amaçlar. Ana konu ayrıca farklı becerilere sahip teknisyenlerin ekiplere bölünmesini, farklı beceri gereksinimlerine sahip görevlerin ekiplere atanmasını ve her ekip için aynı anda rotaları belirtir. Günlük uğranan müşteri sayısı belirlenen limit dahilinde gerçekleşir. Ayrıca model, günlük müşteri limitinin aşılmasını da modele dahil etmiş ve bir kısıtlamaya bağlamıştır. Müşterilerin günlük normal ve fazla çalışma sayılarının çeşitli kombinasyonları değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son olarak, makale, önerilen matematiksel formülasyon ve çözüm yaklaşımının etkinliğini değerlendirmek için hesaplamalı deneyler ve analizler sunar. Sonuçlar, günlük görev kısıtlamalarının çalışan seçiminde ve kullanım miktarında etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Dal ve sınır, Çok periyotlu, Minimizasyon, Teknisyen çizelgeleme, Teknisyen rotalama

* Corresponding Author: pekelc@hotmail.com, enginpekel@hitit.edu.tr

1. Introduction

Technician routing and scheduling problem (TRSP), this type of problem exists in communication networks and maintenance-repair services. The sustainability of such services in a healthy and planned way is highly dependent on routing and scheduling. In addition, firms or institutions require to manage limited labor resources effectively. The services provided by the firm or institutions involve different types of complex tasks to be performed by technicians with various skills. Also, technicians need to visit distinct geographic areas to meet customer demands. TRSP can be defined as a branch of the vehicle routing problem, [1] including time windows. Therefore, it is NP-Hard [2-3].

The current literature on TRSP approaches from many different aspects. The characteristics of TRSP may include time intervals, skills for a technician, requirements for a task, team building, clustering, learning method, multi-period, single-term, service time, and related activities. Dohn et al. [4] aimed to solve the problem of manpower allocation with a single period and time intervals with an integer programming method. Cordeau et al. [5] suggested single-term team building, routing, and scheduling to perform maintenance-repair tasks in a communications firm. Other single-term studies of the TRSP can also be found [2, 3, 6, 7]. Tang et al. [8] formulated a planned maintenance planning problem for multiple days to maximize the sum of profit from customers. Chen et al. [9] suggested using artificial neural networks for a multi-term technician planning problem and stated that the service time depends on the experience of a technician. In their paper, the authors promote a TRSP under multiple terms, length of service, and travel time and also assign available technicians to teams. Lazakis and Khan [10] proposed an optimization framework for short-term maintenance regarding route planning, scheduling, and cost-minimization. They performed different heuristic and clustering techniques effectively. The reliability of the performed techniques is experimented with by case studies. Çakırgil et al. [11] dealt with the multi-skill workforce scheduling and routing problem in field service operations by considering two objectives: completing higher priority tasks earlier and minimizing total operational costs. They proposed a mixed integer programming model to find Pareto optimal solutions. Mathlouthi et al. [12] dealt with a technician routing and scheduling problem by considering multiple time windows for service, an inventory of spare parts carried by each technician, and tasks. They performed a specified Tabu search coupled with an adaptive memory. Irawan et al. [13] proposed a large neighborhood search metaheuristic to solve the deterministic maintenance routing problem in an offshore wind farm by minimizing the total cost. In addition, they considered the

maintenance activities as uncertain conditions and developed a simulation-based optimization algorithm to deal with these uncertainties. Graf [14] proposed a hybrid algorithm that consists of a large neighborhood, local search heuristics, and a decomposition approach to generate competitive solutions at a tight time efficiently. Frifita et al. [15] dealt with a technician routing and scheduling problem by minimizing a linear combination of total weighted distance, over-time, and maximize the served requests. They performed a meta-heuristic algorithm that consists of variable neighborhood search with an adaptive memory and advanced diversity management. Khalfay et al. [16] proposed a greedy randomized heuristic coupled with simulated annealing to deal with the service technician routing and scheduling problem by considering time windows.

Pekel [17] proposed an improved PSO (IPSO) algorithm to solve TRSP using a specific dataset and provided a detailed comparison in the paper.

The rest of this research is organized as follows. Section 2 introduces a definition and mathematical model to the problem. Section 3 explains the branch-and-bound algorithm. In section 4, the case study and consequences are provided in detail. Finally, Section 5 contains the conclusion and future research.

The proposed model structure can be easily applied in any field dealing with technician scheduling. As a result, by providing flexible alternative solutions, both more cost-effective and shorter time to complete the work can be achieved.

The majority of the studies in this field relate to algorithm development that gives better solutions to specified data sets. However, unlike the studies, this paper contributes to the literature by flexing the constraints in the data sets and investigating whether there are better alternatives.

2. Mathematical Model

TRSP is a graph that consists of I and A sets and defined as $G(I, A)$. Vertex set I includes a set of I' scattered tasks and one dummy node (o) designating the depot, and A represents the arc set. A team $k \in K$ chooses pairs of technicians $m, n \in M$ and completes tasks. Each team k begins to complete tasks and returns at the depot on each day $d \in D$. Each arc $(i, j) \in A$ relates a visiting cost c_{ij} that includes the service time p_i related to each task $i \in I'$. In our model, tasks i and j is not equal to each other. The proficiency level $l \in L$ exists in skill requirement $\in Q$. Next, a solution provides a service plan for completing whole tasks during the planning horizon. Table 1 shows all the notations of the mathematical model.

Table 1. Notations of the mathematical model.

Sets	
D	Days
I'	Tasks
I	Tasks and central depot
A	Arcs $A \subseteq (i, j) | i, j \in I$
$\underline{D}_i \subseteq D$	Allowed travel days of task i
$A_d \subseteq A$	Arcs $A_d \subseteq (i, j) | i, j \in I \text{ and } \underline{D}_i \cap \underline{D}_j$
K	Technician groups
M	Technicians
L	Proficiency levels
Q	Skills
Parameters	
c_{ij}	Traveling cost from task i to task j
v_{iq}	1 if task i requires a proficiency $\{0 \text{ or } 1\}$ on skill q , 0 otherwise
g_{mq}	1 if technician m has a proficiency $\{0 \text{ or } 1\}$ on skill q , 0 otherwise
δ	Allowed number of technicians per technician group
$r\omega^{cost}$	A unit cost of routine-work number
ow^{cost}	A unit cost of over-work number
ω^{max}	Daily maximum routine-work number
ot^{max}	Daily maximum over-work number
Decision variables	
x_{ijkd}	1 if technician group k completes task i and visits task j on day d , 0 otherwise
y_{ikd}	1 if technician group k performs task i on day d , 0 otherwise
z_{mkd}	1 if technician m works for team k on day d , 0 otherwise
rW_{kd}	Routine-work number k on day d
OW_{kd}	Over-work number k on day d

Each team utilizes exactly δ technicians, and $\delta = 2$ is chosen as the authors do [18-19]. However, the mathematical model enables different values for δ . A team of technicians with different individual skills has to meet the talent needs of each task. If teams are overqualified than the task requires, no cost comes out. Team arrangements are not allowed within the working day. However, diverse team configurations on various days are allowed. A technician works for at most one team per day. Equation (1) aims to minimize the cost of traveling, routine-work, and over-work number.

$$\min Z = \sum_{(i,j) \in A} \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} c_{ij} x_{ijkd} + r\omega^{cost} \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} rW_{kd} + ow^{cost} \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} OW_{kd} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{d \in D} y_{ikd} = 1 \quad \forall i \in I' \quad (2)$$

$$\sum_{j: (i,j) \in A_d} x_{ijkd} = y_{ikd} \quad \forall i \in I', \forall k \in K, \forall d \in D \quad (3)$$

$$\sum_{j: (o,j) \in A_d} \sum_{k \in K} x_{ojkd} \geq 1 \quad \forall d \in D \quad (4)$$

$$\sum_{i: (i,o) \in A_d} \sum_{k \in K} x_{iokd} \geq 1 \quad \forall d \in D \quad (5)$$

$$\sum_{i: (i,h) \in A_d} x_{ihkd} - \sum_{j: (h,j) \in A_d} x_{hjkd} = 0 \quad \forall h \in I', \forall k \in K, \forall d \in D \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} z_{mkd} \leq 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D \quad (7)$$

$$\sum_{m \in M} z_{mkd} = \delta \quad \forall k \in K, \forall d \in D \quad (8)$$

$$v_{iql} y_{ikd} \leq \sum_{m \in M} g_{mql} z_{mkd} \quad \forall i \in I', \forall q \in Q, \forall l \in L, \forall k \in K, \forall d \in D \quad (9)$$

$$r\omega_{kd} \leq \omega^{max} \quad \forall k \in K, \forall d \in D \quad (10)$$

$$ow_{kd} \leq ot^{max} \quad \forall k \in K, \forall d \in D \quad (11)$$

$$x_{ijkd}, y_{ikd}, z_{mkd} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, \forall m \in M, \forall k \in K, \forall d \in D \quad (12)$$

Equations (2) and (3) ensure to meet all duties are shared to technician groups on the assigned days. Each technician group begins and completes its planned duties within the central depot in equations (4) and (5). Each day must have at least one scheduled technician group. Equation (6) assures the sequence of duties in a technician group and on a day in which visiting a task location. Equation (7) ensures that a technician cannot be employed by more than one team per day and Equation (8) provides the technicians in each technician group. Equation (9) ensures that the skills of the chosen technicians must meet the skill requirements of a duty. Equation (10) ensures that the routing-work number must not exceed the pre-defined value for the routing-work. Equation (11) ensures that the routine-work number must not exceed the pre-defined value for the over-work. Equation (12) declares that $x_{ijkd}, y_{ikd}, z_{mkd}$ are binary variables.

3. Branch and Bound

Branch-and-bound is a divide-and-conquer strategy that decomposes the problem into subproblems on a tree structure called a branch-and-bound tree. The decomposition mechanism of the algorithm: If S is decomposed into S1 and S2, thus defining two sub-problems. Here, new sub-problems obtained by decomposition can be decomposed into sub-problems in the following process. This process is called branching. Sub-problems S1 and S2 are called branches created at node S. Therefore, each sub-problem obtained in solving the problem represents a node in the tree. Branching is not necessarily bidirectional, and multi-directional branching is possible [20].

For the minimization problem discussed in the paper, an upper bound is updated along with the branch-and-bound algorithm and used to prune the nodes. Nodes are pruned because of infeasibility, insufficient bound, and optimal results. If a node is not pruned, it is understood that the specified situations do not occur. In this case, the decomposition process continues into smaller subproblems.

4. Results

This part provides certain combinations of routine-work and overwork limits. Limit ranges of 3 to 6 are preferred. The daily limit amount that will be less than three will make the problem infeasible, so daily lower limit combinations start from 3. While the amount of overworking greater than six does not increase the amount of overwork, it increases the amount of daily routine-work. As a result, daily limit amounts between 3 and 6 were

reported. Table 2 shows the combinations of over-work and routine-work numbers.

The above table provides the number of customers visited on a route within the daily customer limit. In addition, the model included exceeding the daily customer limit in the model and bound it to a constraint. The various combinations of the daily normal and over-work number of customers were evaluated and examined their effects on the objective function. It is seen that ot^{max} and ω^{max} values take values between 3-6. When ot^{max} and ω^{max} values are equal and equal to 3, the solution cost is 641.80, and 200 (31.16%) of this cost is due to over-work. The solution cost tends to decrease when the ot^{max} value is fixed at 3 and the ω^{max} value is increased. When the ot^{max} value is 4 and the ω^{max} value is increased, a downward trend appears again. Finally, when the ot^{max} value is 6, the solution cost reaches its lowest value and the increase or decrease of the ω^{max} values does not affect it in any way. There is no over-work cost since the number of jobs to be completed per day does not exceed 6 or more.

Figure 1 shows the usage of technicians concerning different work combinations. When Figure 1 is examined, it is seen that the most used technician is 1 (37), 3 (27), 5 (27), 6 (20), 4 (18), 7 (14), 8 (12), and 2 (5), respectively. There is a 100% utilization rate as the most used technician number 1 is used in all combinations.

Considering the daily limit combinations created, the usage rate of the technicians used for each combination varies. In this case, forming the daily usage amount with different constraints creates a difference in the solution. This situation also affects the cost and over-work cost.

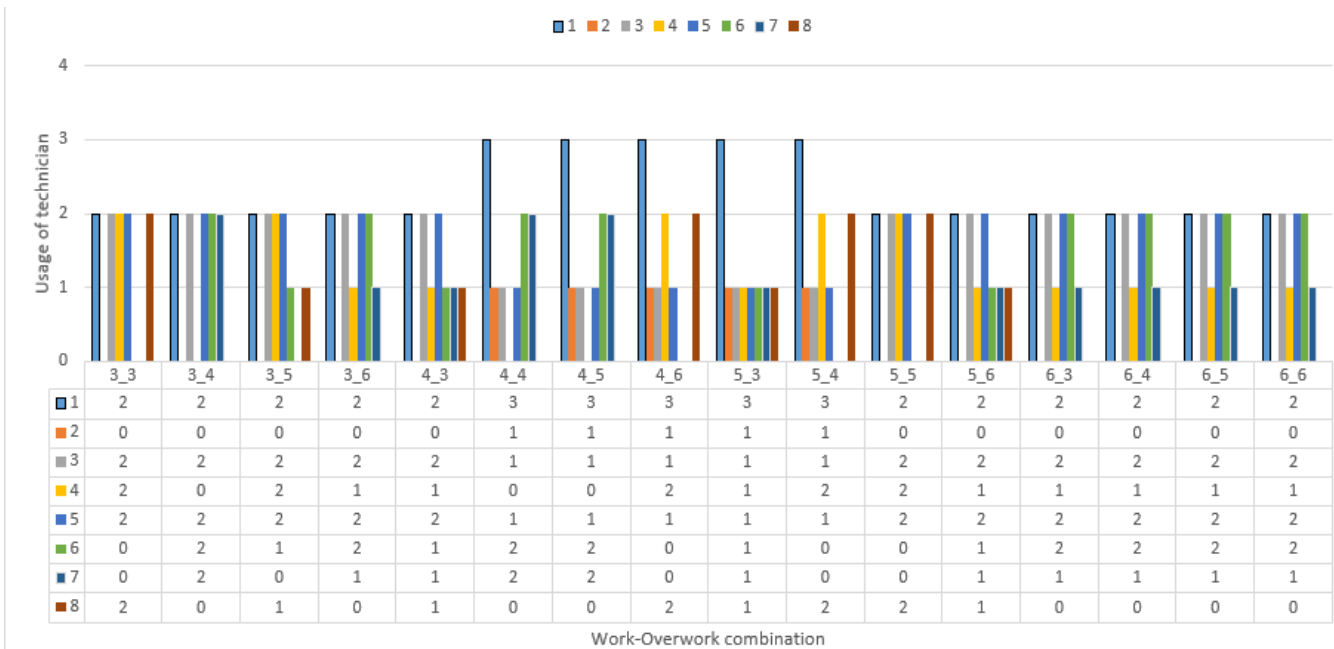


Figure 1. Usage of technicians with regard to different combinations

Table 2. The attributes of different work limit combinations

ot^{max}	ω^{max}	Solution Cost	Over-Work Cost	Technicians	Task of Route
3	3	641.80	200.00	{(1,4), (1,8), (3,5), (5,8), (3,4)}	{5,5,5,5,5}
3	4	638.60	200.00	{(1,6), (3,7), (5,6), (1,7), (3,5)}	{4,5,4,5,6}
3	5	636.60	200.00	{(1,6), (3,5), (1,4), (5,8), (3,4)}	{3,3,7,7,5}
3	6	636.60	200.00	{(3,4), (1,7), (1,6), (3,5), (5,6)}	{3,7,5,3,7}
4	3	588.60	140.00	{(5,6), (3,7), (1,4), (1,8), (3,5)}	{6,5,5,5,4}
4	4	586.60	140.00	{(1,6), (1,7), (1,2), (3,7), (5,6)}	{3,7,3,5,7}
4	5	586.60	140.00	{(1,6), (1,7), (1,2), (3,7), (5,6)}	{3,7,3,5,7}
4	6	586.60	140.00	{(3,4), (1,8), (1,4), (5,8), (1,2)}	{5,3,7,7,3}
5	3	538.60	20.00	{(1,4), (1,8), (1,2), (3,7), (5,6)}	{5,5,4,5,6}
5	4	538.60	20.00	{(1,2), (5,8), (1,4), (1,8), (3,4)}	{4,6,5,5,5}
5	5	538.60	20.00	{(1,4), (5,8), (3,5), (1,8), (3,4)}	{4,6,5,5,5}
5	6	538.60	20.00	{(5,6), (1,8), (3,5), (1,7), (3,4)}	{6,5,4,5,5}
6	3	491.80	0.00	{(3,4), (1,7), (5,6), (3,5), (1,6)}	{5,5,5,5,5}
6	4	491.80	0.00	{(3,4), (1,7), (5,6), (3,5), (1,6)}	{5,5,5,5,5}
6	5	491.80	0.00	{(3,4), (1,7), (5,6), (3,5), (1,6)}	{5,5,5,5,5}
6	6	491.80	0.00	{(3,4), (1,7), (5,6), (3,5), (1,6)}	{5,5,5,5,5}

5. Conclusion

This paper performed the branch and bound method to solve TRSP without time windows. The TRSP consists of the assignment of technicians into teams, the assignment of teams to tasks, the construction of routes, and the selection of the day on which a service is provided by considering the proficiency level of workers and the proficiency requirement of the task. The following findings were reached by considering the paper;

- Mostly the number 1 technician was used, and it has a usage rate of 100% since it is preferred in all combinations.
- The usage rate of the technicians used for each combination varies and this makes the solutions different.
- Due to the nature of this problem set, examining combinations of daily transaction limits between 3 and 6 gives the opportunity to evaluate different solutions.

Future studies may be carried out on alternative scenarios by considering time windows and different exact and heuristic methods.

6. Acknowledge

"The author has no conflict of interest, financial or otherwise."

References

[1] B. Moradi, The new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows using multi-objective discrete learnable evolution model. *Soft Computing*, 2019. p.1-29.

[2] A.A. Kovacs, S.N. Parragh, K.F. Doerner, and R.F. Hartl, Adaptive large neighborhood search for service technician routing and scheduling problems, *J Scheduling*, 2012. 15, p.579-600.

[3] V. Pillac, C. Gueret, and A.L. Medaglia, A parallel matheuristic for the technician routing and scheduling problem, *Optimization Letters*, 2013. 7, p.1525-1535.

[4] A. Dohn, E. Kolind, and J. Clausen, The manpower allocation problem with time windows and job-teaming constraints: A branch-and-price approach, *Computers and Operations Research*, 2009. 36, p.1145-1157.

[5] J.F. Cordeau, G. Laporte, F. Pasin, and S. Ropke, Scheduling technicians and tasks in a telecommunications company, *Journal of Scheduling*, 2010. 13, p.393-409.

[6] S. Bertels, and T. Fahle, A hybrid setup for a hybrid scenario: combining heuristics for the home health care problem, *Computers and Operations Research*, 2006. 33, p.2866-2890.

[7] J.Y. Xu, and S.Y. Chiu, Effective heuristic procedures for a field technician scheduling problem, *Journal of Heuristics*, 2001. 7, p.495-509.

[8] H. Tang, E. Miller-Hooks, and R. Tomastik, Scheduling technicians for planned maintenance of geographically distributed equipment, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2007. 43, p.591-609.

[9] X. Chen, M. Hewitt, and B.W. Thomas, An approximate dynamic programming method for the multi-period technician scheduling problem with experience-based service times and stochastic customers, *International Journal of Production Economics*, 2018. 196, p.122-134.

[10] I. Lazakis, and S. Khan, An optimization framework for daily route planning and scheduling of maintenance vessel activities in offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 2021. 225, 108752.

[11] S. Çakırgil, E. Yücel, and G. Kuyzu, An integrated solution approach for multi-objective, multi-skill workforce scheduling and routing problems. *Computers & Operations Research*, 2020. 118, 104908.

[12] I. Mathlouthi, M. Gendreau, and J.Y. Potvin, A metaheuristic based on Tabu search for solving a technician routing and scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 2021. 125, 105079.

[13] C.A. Irawan, M. Eskandarpour, D. Ouelhadj, and D. Jones, Simulation-based optimisation for stochastic maintenance routing in an offshore wind farm. *European Journal of Operational Research*, 2021. 289(3), p.912-926.

[14] B. Graf, Adaptive large variable neighborhood search for a multiperiod vehicle and technician routing problem. *Networks*, 2020. 76(2), p.256-272.

[15] S. Frifita, I. Mathlouthi, and A. Dammak, An Efficient VNS Algorithm to Solve the Multi-Attribute Technician Routing and Scheduling Problem. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing (IJAMC)*, 2020. 11(1), p.23-35.

[16] A. Khalfay, A. Crispin, and K. Crockett, (2019, September). Solving the service technician routing and scheduling problem with time windows. In *Proceedings of SAI*

- Intelligent Systems Conference (p. 1168-1177). Springer, Cham.
- [17] E. Pekel, Solving technician routing and scheduling problem using improved particle swarm optimization. *Soft Computing*, 2020. 24(24), 19007-19015.
- [18] E. Pekel. and S.S. Kara, Solving fuzzy capacitated location routing problem using hybrid variable neighborhood search and evolutionary local search. *Applied Soft Computing*, 2019. 83, 105665.
- [19] E. Zamorano, and R. Stolletz, Branch-and-price approaches for the multiperiod technician routing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 2017. 257(1), 55-68.
- [20] K. Kianfar, *Branch-and-Bound Algorithms*. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science. 2010.



Windows Tabanlı Uygulamalarda SQL Enjeksiyon Siber Saldırı Senaryosu ve Güvenlik Önlemleri

İsa Avcı^{1*}, Murat Koca², Merve Atasoy³

^{1*} Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7032-8018), isaavci@karabuk.edu.tr

² Bilim Sanayi ve Teknoloji İl Müdürü, Hakkari, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6048-7645), muratkoca30@gmail.com

³ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9400-5694), merveatasoy48@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.995697)

ATIF/REFERENCE: Avcı, İ., Koca, M. & Atasoy, M. (2021). Windows Tabanlı Uygulamalarda SQL Enjeksiyon Siber Saldırı Senaryosu ve Güvenlik Önlemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 213-219.

Öz

Teknolojilerin son yıllarda hızla gelişmesi ile birlikte şirketlere yapılan siber saldırılarda artışlar yaşanmaktadır. Bu saldırılardan en önemlilerinden birisi SQL enjeksiyon saldırıdır. Şirketlerin ve kurumların en önemli verilerinin tutulduğu yerler veri tabanlarıdır. Veri tabanlarında tutulan veri çeşidi ve miktarı her geçen gün artmaktadır. Çeşitli siber saldırı yöntemlerle savunmasız veri tabanlarına sızma mümkündür. Gerekli önlemler alınmazsa özellikle de şirketlerin kendi bünyesinden bu sistemlere sızma çok zor değildir. Profesyonel anlamda hizmet sağlayan web uygulamalarının birçoğu SQL altyapısını kullanan veri tabanı sorgu yapılarını tercih etmektedir. Birçok web tabanlı program kullanıcı isteğine bağlı SQL altyapısını kullanarak sonuçları döndürmektedir ve geliştiricisine bağlı olarak farklı tasarımlarda kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Ancak web tabanlı uygulamalarda saldırgan tarafından sisteme girilen bazı zararlı cümleciklerle SQL sorgularına enjeksiyon işlemi yapılarak sistem manipüle edilebilmektedir. Sızma işlemi sonrası elde edilen gizli bilgiler kötüye kullanılabilir ve hatta kayıtlar silinip uygulamaya ya da sunucuya zarar verilebilir. Bunlara ilave olarak şirketlerin ve kurumların verilerinin çalınması ile büyük ekonomik zararlara uğramaları kaçınılmazdır. Bu çalışmada SQL enjeksiyon açığı bulunan sistemlerin tespitine dair sızma yöntemleri ve alınabilecek güvenlik önlemleri sunulmuştur. ASP.NET platformu MSSQL tabanlı SQL enjeksiyon açığı bulunan bir web projesi üzerinde saldırı örneği ve analizi gösterilmiştir. Ayrıca web tabanlı uygulamalarda alınabilecek güvenlik önlemleri ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: SQL Enjeksiyon, Saldırı Tespiti, Savunma Yöntemleri, Siber Güvenlik.

SQL Injection Cyber-Attack Scenario and Security Measures in Windows-Based Applications

Abstract

With the rapid development of technologies in recent years, there has been an increase in cyber attacks on companies. One of the most important of these attacks is SQL injection attacks. The places where the most important data of companies and institutions are kept are in databases. The type and amount of data kept in databases are increasing day by day. It is possible to infiltrate vulnerable databases through various cyber-attack methods. If the necessary precautions are not taken, it is not very difficult to infiltrate these systems, especially from the companies themselves. Many of the web applications that provide professional services prefer database query structures that use SQL infrastructure. Many web-based programs return results by using SQL infrastructure upon user request and are offered to users in different designs depending on the developer. However, in web-based applications, the system can be manipulated by injecting SQL queries with some harmful phrases entered into the system by the attacker. Confidential information obtained after the infiltration process may be misused, and even the records may be deleted, and the application or server may be damaged. In addition to these, it is inevitable for companies and institutions to suffer great economic losses by stealing their data. In this study, infiltration methods for the detection of systems with SQL injection vulnerability and security measures that can be taken are presented. An attack example and analysis are demonstrated on an ASP.NET platform MSSQL-based web project with SQL injection vulnerability. In addition, security measures and solutions that can be taken in web-based applications are presented.

Keywords: SQL Injection, Attack Detection, Defense Methods, Cybersecurity.

* Sorumlu Yazar: isaavci@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde birçok firma profesyonel ve kurumsal olarak hizmet veren servis sağlayıcı firmalardan veri tabanı sistemleri için hizmet almaktadır. Tercihlerin bu yönde şekillenmiş olması sebebiyle veri tabanı sistemleri oldukça önemli hale gelmiştir. En kritik veriler veri tabanlarında tutulurken, tutulan veri çeşidi ve veri miktarı da her geçen gün artmaktadır. Yalnızca Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP), Müşteri İlişkileri Yönetimi (CRM) sistemleri değil artık doküman yönetimi, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM) gibi uygulamalar da veri tabanlarını kullanmaktadır. Ürün geliştirme yapılan PLM sistemlerinde solidworks gibi uygulamalarda verilerini yine veri tabanlarında tutulmaktadır.

Kişilerin temel hak ve özgürlüklerini korumak için kişisel verileri firmaların yükümlülükleri ve uyacakları kurallar Kişisel Verileri Koruma Kanunu (KVKK) ile belirlenmiştir. KVKK kişisel verilerin işlenmesinden özel hayatın gizliliğine kadar kişileri koruma altına almayı ve bu kuralları göz ardı eden kurum ya da kuruluşları cezalandırmayı hedeflemektedir. Bu açıdan bakıldığında veri tabanlarındaki verilerin gizliliği ve korunması önem arz etmektedir. Kurumlar kurallara uymadığı takdirde ciddi yaptırımlarla karşılaşmaktadır.

Veri tabanlarında seçme, ekleme, silme, güncelleme gibi işlemleri yapabilmemizi sağlayan yapıya (Yapılandırılmış Sorgu Dili) SQL adı verilmiştir. SQL, Windows ve web tabanlı uygulamalarda sıklıkla kullanılan Oracle, MYSQL, PostgreSQL, MSSQL gibi veri tabanı yönetim sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Web tabanlı uygulamalar SQL aracılığıyla haberleşme işlemlerini gerçekleştirirler. Saldırganlar tarafından haberleşme işlemi esnasında veri tabanı ve sistem zafiyetleri ele alınarak sistem kötüye kullanılabilir. Buna ilave olarak kişisel ya da kurumsal veriler saldırganların eline geçmektedir.

SQL enjeksiyon zararlı olmayan SQL cümleciklerinin arasına zararlı kelimeler yerleştirerek sistemi manipüle etme işlemidir. Bu yöntem çok basit bir saldırı yöntemi olmasına rağmen yıllardır popülerliğini hiç yitirmemiştir. SQL enjeksiyon ile kullanıcı adı ve şifre bilgisine ihtiyaç duymadan sisteme girebilmek mümkündür. Web uygulamaları ara yüz geçişleri esnasında sorgulama dilini kullanır ve geliştiricisinin tasarımına bağlı olarak kullanıcıya farklı şekillerde sunulur. SQL enjeksiyon işlemi tam da bu esnada gerçekleştirilmektedir. Saldırgan tarafından uygulamada kullanılan kullanıcı giriş alanlarına ya da tarayıcı adres çubuğuna kötücül cümleciklerin eklenmesiyle meydana gelmektedir. Saldırgan elde ettiği bilgiler ışığında farklı senaryolar üretmek veri tabanındaki verilerin bir kısmı ya da tamamına ulaşabilir. Yönetici şifresini ele geçirerek veri tabanını silebilir, sistemi kapatabilir, ya da elde ettiği verileri kullanarak çeşitli sitelerde verileri ücret karşılığında ilgililerin kullanımına açık hale getirebilir (Boyd ve Keromytis, 2004).

SQL enjeksiyon açıklarını tespit etmek başta yapılması gereken işlem olacaktır. Sonrasında enjeksiyon açığı kullanılarak yapılan bir saldırıyı tespit edecek olan bir mekanizma ve saldırıyı kayıt altına alıp engelleyecek adımlar dizisi bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. ASP.NET tabanlı MSSQL alt yapısını kullanan bir uygulama üzerinde web uygulamalarında saldırı çeşitlerinden biri olan SQL enjeksiyon yöntemi kullanılarak saldırı gerçekleştirilmiş ve analiz işlemi yapılmıştır. Ayrıca, SQL enjeksiyon saldırı çeşidine karşı alınabilecek güvenlik önlemleri analiz edilmiştir.

2. Literatür Taraması

Teknolojinin günden güne gelişmesi, dolayısıyla internet kullanımı ve bilginin küreselleşmesi konuları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. İnternet kullanımına olan talep artıktıca istenilen bilgiye internet vasıtasıyla zamandan ve mekândan bağımsız olarak erişilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre internet kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Buna etmen teknoloji çağında yaşamız ve çevresel etkenler örnek olarak gösterilebilir. İnternet kullanım oranı bir önceki yıla kıyasla 2020 yılında %75,3' ten %79' a yükselmiştir (TÜİK, 2020). 2020 yılı verilerine göre dünya çapındaki internet kullanıcı sayısı ise 4,66 milyar olarak açıklandı (Datareportal, 2020). Dünya çapında İnternetin yaygın olarak kullanılmasıyla web tabanlı uygulamalarda bulunan verilerin gizliliğinin ve güvenliğinin sağlanması daha kritik hale gelmiştir. Kişiyi özel ya da kurumsal bilgiler bu uygulamalarda barındırıldığından kaynakların güvenliği sağlanmalıdır (Vural ve Sağiroğlu, 2008).

Web ortamında sunulan hizmetler sayesinde saldırganlar sistem açıkları ile kolayca sisteme sızabilmekte ve elde ettikleri bilgileri kendi amaçlarına yönelik kullanmaktadırlar (Kara, 2020). Bu şekilde olan yasa dışı erişimler yalnızca kurum, kuruluş ve kullanıcılara değil ülke ekonomileri üzerinde de zarara sebebiyet vermektedir. Bağımsız araştırma firması Uluslararası Veri Kurumuna (IDC) açıkladığı rakamlara göre Türkiye 2017 yılında siber suçlara 233 milyar dolar harcamıştır (Türkiye'nin Siber Güvenlik Pazarı, n.d.). Rakamlar ele alındığında uygulamadaki güvenliğin önemi bir kez daha anlaşılmaktadır (Aydoğdu ve Gündüz, 2016).

Veri tabanlarında barındırılan web uygulamalarına ait veriler diğer kısımlarla etkileşimli olarak çalışan betiklerden oluşmaktadır. Bu tarz uygulamalarda sunucu ile kullanıcı isteklerine ait gönderilen parametreler senkronize çalışmaktadır (Çağlayan, 2004). Kullanıcılara ait istekler web sunucuları üzerinde gönderildiğinden veri tabanı sunucuları saldırganların açık hedefi haline gelmektedir.

Web tabanlı uygulamalar avantajları sebebiyle birçok alanında öncü firma tarafından tercih edilir olmuştur. Her yerden erişimin kolaylıkla sağlanabilmesi, bekleme süresi dolayısıyla zaman kaybını azalttığı ve işlemlerin daha kolay süreçler ile sonuçlanmasını sağlaması gibi sebeplerden dolayı kullanımı artmıştır (Işık, 2013). Gün geçtikçe web uygulamalarının kullanımının artmasından dolayı web saldırılarında da aynı paralellikte artış yaşanmıştır.

Literatürde SQL enjeksiyon saldırı çeşidiyle alakalı birçok çalışmaya rastlanmaktadır (The Open Web Application Security Project). OWASP sitesinde SQL enjeksiyon saldırı yöntemini kullanıcının uygulamaya girdiği veriler aracılığıyla çalışacak olan sorguya yeni bir yapı eklemesinden, enjekte etmesinden oluştuğunu belirtmiştir. Buna ek olarak saldırganın veri tabanı üzerinde ekleme, silme ve güncelleme işlemlerini yapabileceğinden ve işletim sistemine komutlar verebileceğinden bahsetmiştir (OWASP, 2021).

Khaleel Ahmad ve arkadaşları araştırmalarında SQL enjeksiyonunu yetkisiz erişimlerle veri tabanından yararlanma yöntemi olarak tanımlamışlar ve SQL saldırı çeşitlerini sınıflara ayırmışlardır (Khanna ve Verma, 2018). Halfond ve arkadaşları yaptıkları çalışmada saldırıların ciddi güvenlik tehdidi oluşturduğunun altını çizmişlerdir. Araştırmacıların SQL enjeksiyon saldırıları ele almak için birçok yöntem önerdiğini fakat bu yaklaşımların problemin tamamını kapsamadığını öne sürerek farklı türlerdeki SQL saldırılarını yaptıkları bu çalışmada

detaylandırarak açıklamışlardır (Halfond et al., 2006). Buehrer ve arkadaşları araştırmalarında SQL enjeksiyon saldırısını Ayırıştırma Ağacı kullanarak nasıl engelleneceğine dair literatüre katkıda bulunmuşlardır (Buehrer ve ark., 2005).

Altıntaş veritabanı yönetim sistemlerinin tamamında enjeksiyon açıklarının oluşabileceğini söylemiştir. Ele aldığı veri tabanı çeşitlerinin kıyaslamalarını yapmış ve saldırıların tespiti, kaydedilmesi ve engellenmesi konusunda öneriler sunmuştur (Altıntaş, 2019). Saldırıların tespitinde doğruluk analizi J48 kural tabanlı algoritma kullanılarak sağlanmıştır (Ross ve ark., 2017). Enjeksiyon saldırılarını en aza indirmek için tek bir yöntem önerilmiş olsa da tek bir çözümle saldırıların engellenemeyeceği savunmuştur (Mouli ve Jevitha, 2016). E-ticaret sitesine yapılmış olan enjeksiyon saldırılarında kullanıcı girişleri 10 farklı kategoriye ayrıldı ve zararlı karakterlerden kaçınmak alınabilecek güvenlik önlemleri arasında kabul edildi (Soewito ve ark., 2018).

3. Materyal ve Metot

3.1. SQL Enjeksiyon

SQL enjeksiyonu zararlı olmayan SQL cümleciklerinin arasına zararlı kelimeler yerleştirilerek sistemi manipüle etme işlemidir. SQL enjeksiyonu veri tabanı katmanında oluşan bir güvenlik açığıdır (Bravenboer ve ark., 2010). Bu saldırı yöntemi en tehlikeli siber saldırılardan biridir (Natarajan ve Subramani, 2012). Saldırgan uygulama programcısı tarafından amaçlanandan farklı bir veri tabanı isteğiyle sonuçlanan kullanıcı girdisi sağlamaktadır. Kodunu bir web uygulamasına enjekte etmek bu konuda uzman olan kişiler tarafından kolaylıkla saldırı yapılabilmektedir (Ron ve ark., 2015). Kişisel bilgilere erişilmesinde en zararlı güvenlik açıklarından biridir. Enjeksiyonları yalnızca ilişkisel veri tabanlarında oluşmaz ve Not only SQL (NoSQL) veri tabanları da enjeksiyon saldırılarına maruz kalabilmektedir (Kareem ve ark., 2021). Her bir geliştirmenin parçası olarak sızma testlerinin yaptırılması ve zafiyetlerin kapatılması gerekmektedir.

3.2. SQL Enjeksiyon Siber Saldırı Yöntemi

SQL Enjeksiyon saldırılarının saldırganlar tarafından nasıl yapıldığı detaylı olarak bu bölümde verilmektedir. SQL enjeksiyon yöntemi parola bilgisine sahip olmayan saldırgan tarafından yazılımın açığını kullanarak bu bağlantı üzerinden sisteme zarar vermeye çalışmaktadır. Kullanıcı adı ve parola girdiğimiz bir uygulama ekranı tasarlandığı zaman, bilgiler bu alana girildiğinde SQL Server' a Şekil 1'de görüldüğü gibi bir SQL sorgusu yapılmaktadır.

```
Select * from users where username='admin' and password='12345'
```

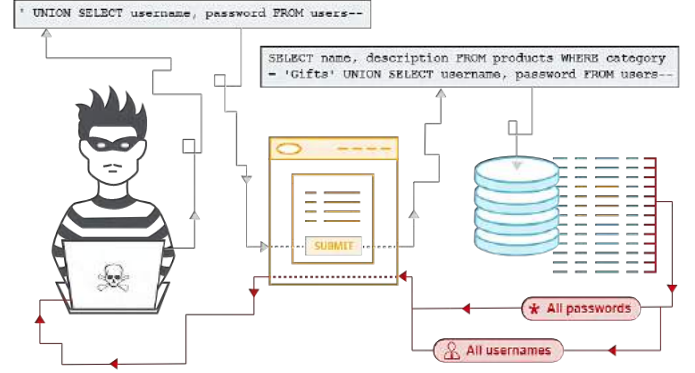
Şekil 1. Kullanıcı Girişi Esnasında Arka Planda Gönderilen Sorgu.

Şekil 1.' de gönderilen sorgu yerine Şekil 2.' deki bir sorgu gönderilmiş olsaydı sisteme basit bir şekilde sızma işlemi gerçekleştirilmiş olacaktır.

```
Select * from users where username='admin' and password='12345' or '1'='1'
```

Şekil 2. Kullanıcı Girişi Esnasında Enjeksiyon Yöntemi Ile Sistemi Manipüle Eden Sorgu.

Sistemlerde enjeksiyon açıkları sayesinde diske format atma, Dosya Transfer Protokolü' ne (FTP) backup atma ve sunucuya zararlı yazılım atma işlemlerine kadar daha birçok işlem bu açıklar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. Web tabanlı SQL Enjeksiyon Çerçevesi.

3.3. Windows Tabanlı Enjeksiyon Açığı Bulunan Uygulama Senaryosu

Bir şirkette üst yönetici yazılım ekibine bir talimat verdiğini ve çalışanlardan öneri toplama ile alakalı olarak hızlı bir uygulama geliştirilmesi talep edildiğini varsayalım. Hızlı olmak adına yazılım geliştirme ekibinin yaklaşık bir saatte ara yüz tasarladığını ve bu işlemi yaparken de dikkatsizlik sonucu enjeksiyon açığı oluşan bir uygulama ekranının kullanıcılar sunulduğu durum gerçekleştirilir.

Windows form uygulama ekranı Şekil 4'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Uygulama kullanıcı öneride bulunduktan sonra kullanıcıya öneri ID' sini döndürmektedir.



Şekil 4. Windows Tabanlı Uygulama Ekranı.

3.4. SQL Enjeksiyon Açığı Bulunan Uygulamaya Saldırı Yöntemi

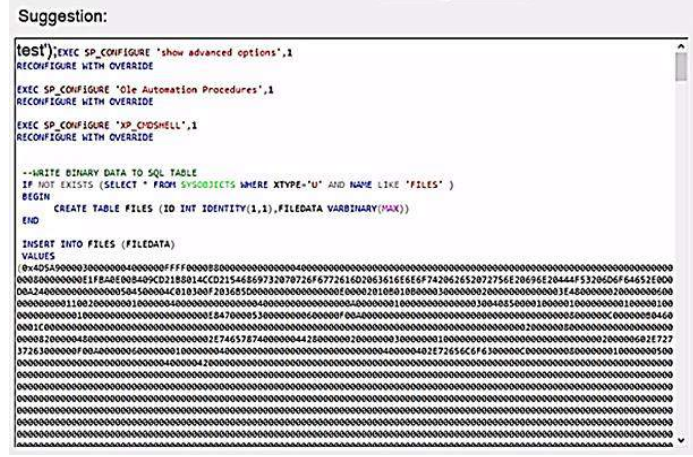
Açık bulunan uygulamaya saldırı yapıldı ve saldırı sonucunda sistem yöneticisinin (SA) parolası ele geçirilmiştir. Parola ele geçirildikten sonra veri tabanını silmekten, kayıtların değiştirilmesine kadar tüm işlemler saldırganın kontrolüne geçmiştir.

Bu saldırının sonucunda SA, SQL Server parolasını klavyeden girdiğinde ilgili bilgiyi yakalayıp ele geçirmeyi amaçlamıştır. Aşağıdaki adımlar uygulama boyunca izlenmiştir.

1. Zararlı yazılım geliştirildi.
2. Yazılımın exe'si binary olarak saklandı.
3. Enjeksiyon açığı kullanılarak bu dosya sunucuya atıldı.

4. Sunucuya dosya kaydedildi.
5. Sunucuya kullanıcı açıldı.
6. Sunucuda keylogger uygulaması çalıştırıldı.
7. Keylogger uygulamasından gelen klavye bilgileri sql tablosuna aktarıldı.
8. Excel ile bağlanılarak klavye bilgileri izlendi ve yönetici parolası ele geçirildi.

Tüm bu işlemler SQL koduna dönüştürülmüş ve tamamı Şekil 5.'de gösterildiği gibi enjeksiyon açığı bulunan Windows tabanlı uygulamadan gönderilmektedir.



Şekil 5. Geliştirilen Kodların Enjeksiyon Yöntemi ile Sisteme Gönderildiği Windows Tabanlı Uygulama Ara Yüzü.

Bu kod sayesinde geliştirilen keylogger uygulaması sunucuya gizlenir, yeni bir kullanıcı ve tablo oluşturulur. Yöneticinin klavyesi dinlenir, girdiği parola ve kullanıcı adı tabloya insert edilir. Saldırgan excel'den bağlanıp girdiğinde Şekil 6.'da görüldüğü üzere admin parolası ele geçirilmiştir.

ID	STR	DATE
1	1 administrator<Tab>Password1b<Backspace><Backspace>	1.09.2019 02:56

Şekil 6. SA Kullanıcı Adı ve Parolasını İçeren Tablonun Excel Görünümü.

4. SQL Enjeksiyon Saldırılarına Karşı Alınacak Güvenlik Önlemleri

Sistem üzerinde bir şekilde açık olabilir ve kendi geliştirmediklerimiz uygulamanın güvenlik açısından garantisini veremeyiz. Bu uygulamalar dışarıdan satın alınmışta olabilmektedir veya kendimiz tarafından bireysel olarak geliştirilmiş olabilmektedir. Bunun üzerine sıklıkla penetrasyon testleri yapılmalıdır ki bu geliştirilen yazılımlarda açık olup olmadığı tespit edilmesi açısından önem arz etmektedir (Chen ve ark., 2021). Fakat bu işlem sonucunda da garanti sağlanması mümkün değildir. En nihayetinde yönetici ve sistem sorumlusu bu sistemlerden sorumludur. Bu anlamda yöneticinin kendi e-ISSN: 2148-2683

önlemlerini alabiliyor olması gerekmektedir. Böylece, eğer herhangi bir kullanıcı sisteme SQL enjeksiyon açığını kullanarak kullanıcı açıyorsa yöneticinin bundan anında haberdar olması gerekmektedir (Alenezi ve ark., 2021).

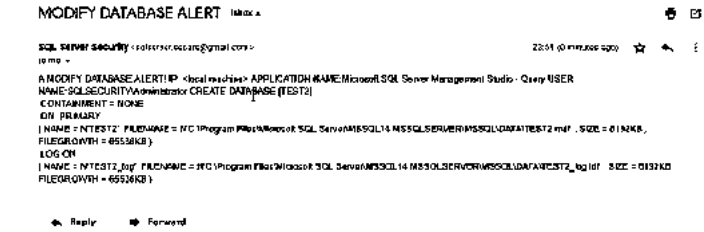
4.1. Mail ile Veri Tabanı Yöneticisine Haber Verme

Sisteme yeni bir kullanıcı eklendiği zaman çalışan, kullanıcının hangi bilgisayardan ne zaman eklendiğini, kullanıcı adı bilgisini anlık olarak veri tabanı yöneticisine haber verme işlemini gerçekleştiren bir tetikleyici oluşturulur. Tetikleyici sisteme eklendiğinde Server Objects başlığı altında olduğu gözlemlenir (Kara, 2020). Tetikleyici sisteme eklendikten sonra enjeksiyon açığı kullanılarak sistemde kullanıcı açmaya çalışan saldırganın denemeleri sonrasında veri tabanı yöneticisine düşen mail Şekil 7.'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Yöneticiye Sisteme Yeni Kullanıcı Eklendiğine Otomatik Dair Gönderilen Mail.

Aynı zamanda veri tabanında kayıtlar siliniyor, ekleniyor ya da değiştiriliyor olduğu durum içinde yeni bir alarm oluşturulur. SQL Enjeksiyon açığından faydalanarak sistemde bu işlemleri yapan saldırganın girişiminden sonra Şekil 8.'de ki mail veri tabanı yöneticisine gönderilmektedir.



Şekil 8. Veri Tabanı Kayıtlarının Değiştirildiğine Dair Yöneticiye Otomatik Gönderilen Mail.

4.2. İşlemlerin Belirli Bilgisayarlardan Yapılmasına İzin Vermek

Mail ile veri tabanı admin'e haber verme işlemi saldırganı tespit etmek adına yararlı bir süreç olacaktır. Fakat saldırganın veri tabanına müdahalesi sonucu veri kaybı yaşanmış ve her şey için çok geç olabilmektedir. Bu aşamada en mantıklı işlem saldırganın müdahalesinin engellenmesi olmaktadır. Bu aşamada ne kadar kullanıcı adı ve parola biliniyor olsa bile sadece yetkili bilgisayarlardan işlem yapılmasına izin vermek doğru olacaktır. SQL'e bir AUDIT tablosu eklenir ve tabloda ID, IPADRESS alanlarına yer verilmektedir (Özarpa ve ark., 2020).

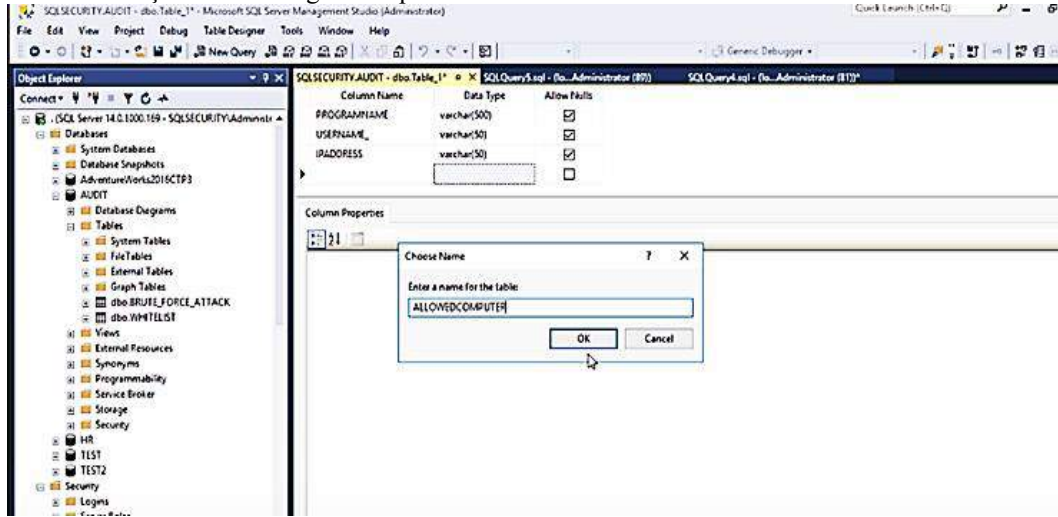
Create, drop ve alter işlemlerinde yalnızca bu tablodaki IP' lere izin verilir; diğer IP' lere gelen istekleri engellenen bir uyarıcı oluşturulur. Bu sayede yetkisi olmayan kullanıcıların eline kullanıcı adı ve parola bilgisi geçmiş olsa bile saldırı işlemlerinin engellenmesi sağlanır.

4.3. System Administrator Parolasının Ele Geçirildiği Şüphesi Oluşturduğu Durum

Yönetici parolalarının korunması ve saklanması siber saldırılar açısından önem arz etmektedir. Yönetici parolasının ele geçirildiği düşünülüyorsa fakat herhangi bir kanıt yok ise bununla alakalı akla gelen ilk şey parolanın değiştirilmesi olacaktır. Bir şekilde sisteme bağlanan yazılımlar içerisinde parola bilgisi yer alabilir. Parolayı değiştirmek yazılımların kaynak kodlarını ya da bağlantı cümleciklerinde değişikliği sebebiyet verecektir ve bu da problemleri ortadan kaldıracaktır.

Bir diğer nokta ise parola ele geçirildiyse yeniden ele geçirilmesi ihtimalidir. Bu aşamada saldırıyı tespit etmek

saldırıyı engellemekten daha önemli bir durumdur. Bu aşamada SA kullanıcısı ile bağlanan uygulamaları ve SA kullanıcısı ile bağlanabilecek bilgisayarları kontrol edip bu bilgisayarlar ya da bu uygulamalar dışında bağlantı sağlayabileceği durumu söz konusuysa yöneticiye mail gönderecek bir uyarı sistemi bu problemleri ortadan kaldıracaktır.



Şekil 9. AUDIT Tablosu ve Alanları.

Şekil 9.' de ki gibi bir AUDIT tablosu oluşturuldu ve yöneticinin ilgili bilgileri bu tabloya eklenir. Bu adımlardan sonra bir uyarıcı oluşturulmaktadır ve oluşturulan bu uyarıcı sonrasında yönetici kendi makinesinden girdiğinde sisteme herhangi bir mail

düşmeyecek fakat başka makineden giriş denendiği durumda Şekil 10.' da görülen bilgilendirme maili ayarlanan mail adresine SQL Server Management Studio (SSMS) tarafından gönderilecektir.



Şekil 10. Yetkisiz Giriş Tespit Edildiğine Dair Sistem Tarafından Otomatik Gönderilen Mail.

Bu işlem sonrasında SQL sunucusunda SA parolasının hangi makine tarafından ele geçirilmeye çalışıldığı ve kullanılan program bilgisi hakkında veriler toplanmaktadır. Yazılan bir uygulama ile uyarıcı belirli bilgisayarlardan ve belirli uygulamalardan sisteme SA ile giriş yapıldığında tespit etme mekanizması kurulumu gerçekleştirilir.

4.4. Tüm Sistemlerde Üzerinde SQL Enjeksiyonuna Karşı Alınması Gereken Genel Önlemler

Bu çalışmada verilen detaylı bilgiler ışığında, sonuç olarak, veritabanı yönetim sistemlerinin yüksek düzeyde güvenliğini sağlamak için; Literatürdeki çalışmalar ve örnek uygulamalar e-ISSN: 2148-2683

incelenmiş ve sızmaya karşı geliştirilen modellere dayalı olarak alınması gereken önlemler aşağıda verilmiştir (Avcı, 2021).

- Veritabanındaki tablo ve tablo alanlarındaki isimlerin tahmin edilmesi kolay olmamalıdır.
- Web formlarında parametrik sorguların kullanılması tercih edilmelidir.
- Web formlarında giriş kontrollerine veri girişi yapılırken bu veriler doğrulanmalı ve giriş uzunluğu kontrol edilmelidir.
- Web formlarında kullanılan ve veri tabanında bir kayıt satırını temsil eden değerler (Query-String değeri) için formlar arası geçişlerde bu değerlerin sayısal değer olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir.
- SQL tabanlı web uygulamalarında kullanıcı veri girdikten sonra veri tabanına gönderilen sorgular filtrelenmeli ve zararlı içerik olarak algılanabilecek karakterler kaldırılmalı veya değiştirilmelidir.

- SQL sunucularında oluşacak hataların, saldırganın site hakkında bilgi toplamasını ve açık araştırma yapmasını kolaylaştıracağı için web formlarında görüntülenmesi engellenmelidir.
- Uygulamalarda kullanılan veri tabanını yazma, okuma, silme gibi özellikler sadece yetkili bir yönetici tarafından gerçekleştirilmelidir.
- Web uygulamalarında sorguları formlarda yazmak yerine veritabanı tarafında saklı bir prosedür olarak gerçekleştirilmelidir.
- SQL enjeksiyon saldırı yönteminde kullanılabilecek kelimeleri (seç, ekle, sil, güncelle vb.) olası sızma girişimleri hakkında bilgi vermeyi engelleyecek bir fonksiyon ile filtreleme yapılmalıdır.
- Veritabanında kullanılacak yöneticilerin sınırlı yetkilere sahip bir kullanıcı hesabı ile çalıştırılmasına özen gösterilmelidir.
- Kullanılmayan saklı yordamlar ve yönetici hesapları kaldırılmalıdır.
- Sistem nesnelere genel erişim verilmemeli, gerekirse kullanıcı bazında yetki verilmelidir.
- Web uygulaması ve veritabanı sunucularının bulunduğu sistem, donanım veya yazılım tabanlı güvenlik duvarı ile saldırılara karşı korunmalıdır.
- Veri girişleri yapılırken tüm SQL deyimleri bir logbook'a yazılmalı ve kontrol edilmelidir.
- Her veri girişinden sonra verilerin yedeklenmesi güvenlik açısından önemlidir.

5. Sonuç

Şirket ve kurumların en önemli verileri veri tabanlarında saklanmaktadır. Veritabanlarında tutulan verilerin türü ve veri boyutu her geçen gün artmaktadır. Savunmasız veritabanlarına çeşitli şekillerde sızma mümkündür. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde bu sistemlere özellikle içeriden sızma zor değildir. Profesyonel hizmet veren web uygulamalarının birçoğu SQL altyapısını kullanan veritabanı sorgulama yapılarını tercih etmektedir. Web tabanlı birçok program, kullanıcının isteği üzerine SQL motorunu kullanarak sonuç döndürür ve geliştiriciye bağlı olarak farklı tasarımlarda kullanıcıya sunulur. Ancak web tabanlı uygulamalarda saldırgan tarafından sisteme girilen bazı zararlı ifadelerle SQL sorguları enjekte edilerek sistem manipüle edilebilmektedir. Sızma işlemi sonrasında elde edilen gizli bilgiler kötüye kullanılabilir, hatta kayıtlar silinebilir ve uygulama veya sunucu zarar görebilir. Bu zararlar diski biçimlendirmek, FTP yedeği oluşturmak, veritabanı sunucusuna kötü amaçlı yazılım atmak olarak sıralanabilir ve paralel olarak çoğaltılması mümkündür. Bu çalışmada verilen önlemler saldırı tipine göre artırılıp azaltılabilir. İlgili önlemler alınırsa SQL enjeksiyon saldırıları büyük ölçüde önlenmiş olacaktır. Tüm bu nedenlerle geliştirilen web tabanlı uygulamalarda sızma ve saldırılara karşı önlem alınmalıdır. Güvenli yazılım geliştirme hususları her aşamada dikkate alınmalıdır. Bu saldırılara karşı güvenli yerli ve milli uygulamalar geliştirilmelidir. Saldırıları önlemek için kaynak ve güvenli siber istihbarat servisleri kullanılmalı ve akademik çalışmalar desteklenmelidir.

Kaynakça

Alenezi, M., Nadeem, M., Asif, R. (2021). SQL injection attacks countermeasures assessments. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science 2021, 21(2), 1121-1131. doi: 10.11591/ijeecs.v21.i2.

- Altıntaş, B. (2019). Master Thesis a Security Comparison of Oracle, Security Comparison of Oracle, SQL Server and MYSQL Database Management System Against SQL Injection Attack Vulnerabilities. Master Thesis, Yasar University, İzmir, Türkiye.
- Avcı, İ. (2021). Investigation of Cyber-Attack Methods and Measures in Smart Grids. Sakarya University Journal of Science, 25 (4), 1049-1060. DOI: 10.16984/saufenbilder.955914.
- Aydoğdu, D., Gündüz, M. S. (2016). Web uygulama güvenliği açıklıkları ve güvenlik çözümleri üzerine bir araştırma. 1, 1–7.
- Boyd, S. W., Keromytis, A. D. (2004). SQLrand: Preventing SQL Injection Attacks. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 3089, 292–302, https://doi.org/10.1007/978-3-540-24852-1_21
- Bravenboer, M., Dolstra, E., Visser, E. (2010). Preventing Injection Attacks with Syntax Embeddings. Science of Computer Programming, 75(7), 473–495. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2009.05.004>.
- Buehrer, G., Weide, B. W., Sivilotti, P. A. G. (2005). Using Parse Tree Validation to Prevent SQL Injection Attacks. SEM 2005 - Proceedings of the 5th International Workshop on Software Engineering and Middleware, 106–113.
- Chen, D. et al. (2021). Sql injection attack detection and prevention techniques using deep learning. Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 012055.
- Çağlayan, İ. (2004). Yeni Web Teknolojileri Ve Web Uygulamaları. Master Thesis, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Digital2020. (2021) <https://datareportal.com/reports/digital-2020-october-global-statshot> (Erişim tarihi: 11.08.2021)
- Halfond, W. G. et al. (2006). A classification of SQL-injection attacks and countermeasures. Proceedings of the IEEE international symposium on secure software engineering, IEEE, 13-15.
- Kara, İ. (2020). Web Hackleme Saldırıları. Ejovoc, vol. 10, 1-6.
- Kareem, F. Q. et al. (2021). SQL injection attacks prevention system technology. Asian Journal of Research in Computer Science, 13-32. doi: 10.9734/AJRCOS/2021/v10i330242.
- Khanna, S., Verma, A. K. (2018). Classification of SQL injection attacks. Advances in Intelligent Systems and Computing, 518,463–469.https://doi.org/10.1007/978-981-10-3373-5_46
- Işık, D. (2013). Üniversite Kütüphanelerinde Web 2.0 Teknolojilerinin Kullanımı ve Web Tabanlı Kullanıcı Eğitimi İçin Öneriler. Türk Kütüphaneciliği, vol. 27(1): 100-116.
- Mouli, V. R., Jevitha, K. P. (2016). Web Services Attacks and Security- A Systematic Literature Review. Procedia Computer Science, 93(September), 870–877. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.265>
- Natarajan, K., Subramani, S. (2012). Generation of Sql-Injection Free Secure Algorithm to Detect and Prevent Sql-Injection Attacks, Procedia Technology, 4, 790–796. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.129>.
- Özarpa, C., Kara, S. A., Avcı, İ. (2020). Siber Güvenlik Savunma Hiyerarşisinde Yeni Bir Eğitim Modeli. 4. Uluslararası Eğitim ve Değerler Sempozyumu, ISOEVA-2020, Karabük, Türkiye, 939-947.

- Ron, A., Shulman-Peleg, A., Bronshtein, E. (2015). No SQL, No Injection? Examining NoSQL Security. <http://arxiv.org/abs/1506.04082>.
- Ross, K., Moh, M., Moh, T., & Yao, J. (2018). Multi-source data analysis and evaluation of machine learning techniques for SQL injection detection. Proceedings of the ACMSE 2018 Conference.
- SQLInjection|. (2021). https://owasp.org/wwwcommunity/attacks/SQL_Injection (Erişim tarihi:01.09.2021)
- Soewito, B. et al. (2018). Prevention Structured Query Language Injection Using Regular Expression and Escape String. *Procedia Computer Science*, 135, 678-687. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.218>
- TÜİK. (2020) <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33679> (Erişim tarihi:15.08.2021)
- Vural, Y., Sağiroğlu, ř. (2008). Kurumsal bilgi güvenliği ve standartları üzerine bir inceleme. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Vol. 23, Issue 2, 507–522.



Görme Engelli Bireyler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Modeli

İsa Avcı^{1*}, Mehmet Yıldırım²

^{1*} Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7032-8018), isaavci@karabuk.edu.tr

² Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7094-9658), myildirim@ogrenci.karabuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.995726)

ATIF/REFERENCE: Avcı, İ. & Yıldırım, M. (2021). Görme Engelli Bireyler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 220-227.

Öz

Görme engelli bireylerin sayısı her geçen gün artmaktadır ve Türkiye nüfusu içinde görme engelli oranı %0,3'tür. Görme engelli bireyler fiziksel erişilebilirlik sorunları ve teknolojinin yeterince onlara uygun şekilde gelişim gösterememesi gibi nedenlerden dolayı sosyal yaşamda çok fazla yer alamamaktadırlar. Görme engelli bireylerin yaşam kalitesini arttırmak ve sosyal yaşam olanağı sağlamak amacıyla, yanı başlarında yardımcı olacak bu uygulama ile onlara günlük hayatta kolaylık sağlayacak ve bu bireylerin yaşam açısından zevk almaları sağlanacaktır. Bu çalışma, görme engelli bireyler için göz olacak ve etrafındaki nesnelere, uygulama sayesinde ve kamera aracılığıyla görüntüleyebileceklerdir. Ayrıca seslendirmeler sayesinde onlar için etraflarında nelerin olduğu konusunda farkındalıkları artacaktır. Seslendirdiği yön ve gördüğü nesnelere sayesinde kişinin ne yapacağı, hangi tarafa yönleneceği hakkında bilgi sahibi olması sağlanmış olacaktır. Böylelikle bu bireyler yalnız başlarına dışarı çıkıp dolaşma kolaylığına sahip olacaklardır. Bu çalışma da, açık kaynak kodlu yapay sinir ağı kütüphanesi olan Darknet kütüphanesi kullanılıp, nesne tespiti yapmak için YOLO algoritmasının önceden eğitilmiş modeli kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında işlem yapılması için, QT Designer programı ile kullanıcı ara yüzü tasarlanmıştır. Önerilen bu modelde 81 adet nesnenin yapay sinir ağı modeli ile eğitimi yapılarak, nesnelere tanınması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, görme engelli bireyler için derin öğrenme tabanlı nesne tanıma modeli önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarlı Görme Teknikleri, YOLO Algoritması, Görme Engelli Bireyler, Derin Öğrenme, Gerçek Zamanlı Nesne Tanıma.

Deep Learning-Based Object Recognition Model For Visually Impaired Individuals

Abstract

The number of visually impaired individuals is increasing day by day and the rate of visually impaired in Turkey's population is 0.3%. Visually impaired individuals cannot take part in social life very much in terms of social relations due to reasons such as physical accessibility problems and the insufficient development of technology. This application, which will help visually impaired individuals with the aim of increasing their quality of life and providing social life opportunities, will provide convenience in their daily life and ensure that these individuals are happy in terms of life. This work will be an eye for visually impaired individuals and they will be able to view the objects around them through the application and the camera. In addition, thanks to the voice-overs, their awareness of what is around them will increase. Thanks to the direction he voices and the objects he sees, it will be ensured that the person has information about what to do and which way to go. In this way, these individuals will have the convenience of going out and wandering alone. In this study, the Darknet library, which is an open-source artificial neural network library, was used and a pre-trained model of the YOLO algorithm was used to detect objects. The user interface was designed with the Qt Designer program for processing in the computer environment. In this proposed model, 81 objects were trained with the artificial neural network model and the objects were recognized. In this study, a deep learning-based object recognition model is proposed for visually impaired individuals.

Keywords: Computer Vision Techniques, Yolo Algorithm, Visually Impaired Individuals, Deep Learning, Real-Time Object Recognition.

* Sorumlu Yazar: isaavci@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Bilindiği üzere dünyada olan olayları, çevredeki değişen ortamları görmeyi sağlayan organ gözdür. Göz organında, kişinin elinde olmayan sebeplerden dolayı sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır ve bu sorunlar kalıcı hasar olarak baş göstermektedir. Beş duyu organdan biri olan göz, bilinenlerin, duyulanların hatta hissedilenlerin %80' ini öğrenmeyi sağlayan organdır. Görme engelli bir kişi ile sohbet etme şansız olduysa, onların en büyük üzüntüsünün gözlerinin görmemesi değil, etrafındaki insanların merhametsiz ve yardımsever olmamasıdır. Toplum genelinin görme engelli bireylere karşı hoşgörülü olmamaları, onların hayatlarını kolaylaştıracak herhangi bir fiili de gerçekleştirilmemelerine sebep olmamaktadır.

Dünya da yaklaşık 1,3 milyar kişinin, görme bozukluğu sorunu bulunmaktadır. Bu kişilerin de 36 milyon kadarı görmeyi tamamen kaybetmiş bireylerdir (WHO, 2021). Görme engelli bireyler, yaşadıkları çevrede kendilerinin yapmakla yükümlü oldukları işleri herhangi bir yardım almadan yapabilseler, diğer sağlıklı insanlar gibi eşit olanaklara sahip olsalar, yaşadıkları bu hayatta dışlanmamış olacaklardır. Bu da hayatlarından hep zevk almalarını sağlayacaktır. Kendi işlerini başkalarının yardım etmesine gerek kalmadan ve başka insanlara yük olduğunu düşünmeden halletmek onları çok mutlu edecektir. Ülkemizde görme engelli bireylerin isteklerinden bazıları, diğer sağlıklı bireylerle eşit hak ve olanaklara sahip olmak, toplumda daha çok vakit geçirmek, günlük yaşantılarında başka insanların yardımına ihtiyaç duymamak ve daha rahat olabilecekleri şartlara sahip olmaktır.

Hali hazırda bulunan normal eğitim sistemindeki bu ortamların eşit koşullarda olmaması, yararları bakımından tartışmaya açık bir sistemdir. Bu eğitim sisteminde devletin gerekli desteği gösteremediği ve gerekli önlemlerin alınmadığı belirtilmektedir. Örneğin Braille (körler) alfabetesini, ilkokula yeni başlayan bir kişinin öğretmeni ile bir haftada yaklaşık 2 saat gibi bir sürede öğrenilebileceği düşünülmektedir. Fakat bu eğitimin de düzenli olarak verilemediği vurgulanmıştır. Buradaki sorunlardan biri de öğretmenlerin engelli öğrencilere nasıl ders vereceklerini bilememeleri olup, bunun da ciddi sorunlara sebep olabilmektedir. Turged Derneğine göre, bu eğitim-öğretimdeki sıkıntılar nedeniyle görme engellilerin zorlandığı derslerden biri olan matematik dersinde başarılı olma ihtimallerinin çok fazla olmadığı dile getirilmiştir. Bu çalışmada nesnelere seslendirildiği için bu konu da görme engelli bireylere kolaylık sağlayacaktır (Veri Gazeteciliği, 2021).

Toplumda, görme engelli bireylerin kendi başlarına kimseye ihtiyacı olmadan bir yerden başka bir yere gitmeleri mümkün olabilmektedir. Görme engelli bireylerin yanlarında eşlik edecek kimsesi yoksa metalden yapılmış olan beyaz renkli bastonları vardır. Bu baston ile etrafındaki nesnelere çarpmadan gitmeyi sağlarlar ve bu baston katlanabilir özelliğe sahiptir.

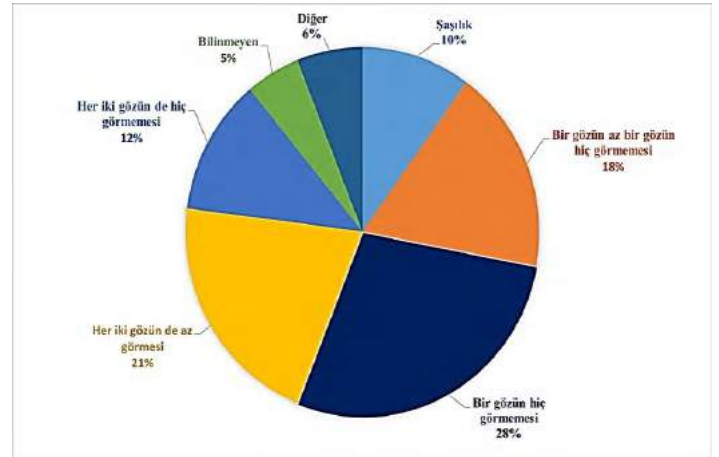
Görme engelli bireylerin yaşantılarında, eğitimlerinde veya çalışma alanlarında, onlar için tasarlanmış araçlar bulunmaktadır. Bunları söyleyecek olursak; termometreler, kabartmalı noktalarla gösterilen rakamlara sahip saatler, kan şekerini ve tansiyonu ölçen aletler, yapılan hesabı seslendiren hesap makineleri, sesli olarak renkleri ne olduğunu söyleyen cihazlar, rakamları kabartmalı paralar, kişisel bilgisayarlar, özel gözlükler, büyüteçler, mutfak aletleri görme engelli bireylerin günlük yaşantılarında fayda sağlayan nesnelere sahiptir. Bu nesnelere çoğu yurt dışından getirilmektedir. Artık ülke olarak, sosyal bilince sahip olup, görme engelli bireylerin yaşadıklarını ve onları da bu güzel

dünyaya dâhil etmek için elinden gelen her imkânı sağlamaya çalışılmaktadır (MKA, 2021).



Şekil 1. Türkiye Görme Engelli Dağılım Haritası.

Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı'nın 2011 yılında yapmış olduğu çalışmaya göre, Türkiye nüfusunun %1,4' ü yani 1.039.000 kişi engel olarak görmede zorluk yaşayanlar grubuna girmektedir. 2011 yılında Apple tarafından duyurulan Siri' den, Siirt Zübeyde Hanım Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi öğrencilerinin "TÜBİTAK 4006 Bilim Fuarı Sergisi" kapsamında tasarladığı sensörlü bastona kadar yapay zekâ yardımı ile görme engellilere yardımcı olabilecek birçok ürün ve yazılım tasarlanmıştır. Mevcut çalışmada, görme engellilerin kendi başına ilaç kullanabilmesi için bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulamanın geliştirilebilmesi için her bir ilaç için 100 adet fotoğraf kullanılmıştır ve toplamda 10 sınıflı bir veri kümesi oluşturulmuştur. Bu verilere CNN, Adam, RMSProp, Adagrad, Nadam algoritmaları uygulanmıştır. En iyi sonucu veren optimizasyon algoritması olan Adam ile model geliştirilmiştir. Bu çalışma da ise görme engelli bireyler için günlük hayatta kullanılan nesnelere için eğitilmiştir (Yılmaz ve Gürhanlı, 2020).



Şekil 2. Türkiye'de Görme Engelinin Türüne Göre Engelli Nüfus Oranı.

"Facing Emotions" adlı proje yeni bir programlama dili ile geliştirilmiştir. Bunun sayesinde, insan bedenine bir elektronik alet ile takılabilen telefon, yüz tanımlama teknolojisi kullanarak arka kamerası ile yüzdeki ifadeyi, duyguyu sese dönüştürüp, görme engelli kişinin taktığı kulaklığa iletmektedir. İnsanların o anda karşı tarafa hissettirdikleri duyguya göre sesin analizini yapabilen bu uygulama ile, engelli bireyler için oluşabilecek engellerin bir kısmının ortadan kalkması için atılmış büyük bir adımdır. İleride bu çalışma için öngörücü bir bilgi olarak, sadece telefonlara değil, basit şekildeki kullanılabilir aparatlarla bu

uygulama entegre şekilde çalıştırılabilir düşüncesi ortaya çıkmaktadır (Vizyoner Genç, 2021).

Son zamanlarda oldukça popüler olan, görüntü işleme uygulamalarını gerçek zamanlı çalışan sistemlerle yapmak önemli bir konuya dönüşmüştür. Görüntülerden nesnenin tespitini yapmada kullanılan görüntü işleme algoritmaları ile yapay zekânın alt dallarından biri olarak bilinen derin öğrenme, entegre bir şekilde kullanılarak, otonom insansız hava araçları, otonom kara araçları, yaşlı ve engelli bireyler için asistan teknolojileri, yardımcı robot teknolojileri gibi birçok alanda uygulamalar geliştirilmektedir. Görme engelli bireylere yardımcı olacak bir teknoloji ile gerçekleştirilen bu çalışmada ise, dokunsal parke yüzeylerinin tespiti için derin öğrenme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Onlara yardım etmek amacıyla, bu çalışmada, dış mekân senaryolarında olası engellerin konumunu belirleyebilecek bir sistem önerilmektedir. Yaklaşımımız müdahaleci olmayan giyilebilir cihazlara dayanmaktadır ve aynı zamanda düşük maliyetli olmaya odaklanmaktadır (Bauer ve ark., 2020).

IoT ile gömülü derin öğrenme mekanizmasını kullanan akıllı perde asistanının, mimari tasarımını yansıtıyor. Önerilen model, derin öğrenme paradigmasının yanı sıra raspberry pi ve kamera modülünü kullanan akıllı bir kapak sunmaktadır. Önerilen model, çok sensörlü bir mikro denetleyiciyi kullanan akıllı bir görme engelli bastonunun yapısal tasarımını sunmaktadır. Taslak ayrıca tam entegrasyonun yöneticisi olarak hareket eden bir sanal asistan geliştirme süreci sağlamaktadır. Model, anlık veri izleme için IoT ve Bluetooth bağlantısını kullanır ve yetkili kişi, IoT bulut sunucusunu kullanarak görme bozukluğunu izlemeye devam eder. Bu beklenen modelin yeterliliğini incelemek için derin öğrenme kullanarak nesne algılama, sensör veri hesaplama ve sistem kullanılabilirliği numaralandırılır ve yorumlanır. IoT ile nesnelere daha kullanışlı hale getirilir ve engelli bireyler için faydalı projelerin ortaya çıkarılması sağlanır (Rahman ve ark., 2021).

Sreeraj vd. yaptığı çalışmada; VIZIYON, engelleri uygun maliyetli bir şekilde belirlemek için IoT sistemine dayanan bir cihazdır. Bu cihaz, tanımlama, mesafe vektörü ve nesne algılamaya dayalı olarak işlemleri gerçekleştirir. Nesne tanıma, evrişimli sinir ağı kavramı kullanılarak yapılır. VIZIYON, nesnelere mesafesini kullanırken, bu çalışmada ise ekranı dokuz parçaya ayırıp lokasyon belirlemesi yapılmaktadır. Bunlar, sağ, orta, sol, sağ alt, sağ üst, sol alt, sol üst, orta alt ve orta üst kısımlarıdır (Sreeraj ve ark., 2020). Bu çalışma, daha kolay ve etkili kullanıcı navigasyonu sağlayan verimli bir sistem tasarımı yoluyla kullanıcının dijital ara yüzlerle (örneğin kişisel bilgisayarların ve akıllı telefonların görüntüleme sistemi) deneyimini artırmayı amaçlamaktadır. Bu uygulama cep telefonlarına uyarlanabilir (Sait ve ark., 2020).

Literatürde, Çınar vd yaptığı çalışmada; logo tanıma uygulaması ile görme engelli bireyin akıllı telefonuna, geliştirilmiş bu uygulama indirilir. Gittiği bir alışveriş merkezinde yeme-içme katına, yemek yemek için çıkan görme engelli bireyin, bu katta hangi yemek firmalarının olduğunu ve bunların, bulunduğu konuma göre hangi yönde olduğunu bildiren bir uygulama geliştirilmiştir. Bu çalışma da bu uygulamada olduğu gibi telefon üzerinden ilerlemektedir. Konum ve seslendirme işlemleri yapılmıştır. Görme engelli birey telefonundaki uygulamayı açar, kamerayı çalıştırır bu uygulama ile çevresini tarar, elde edilen canlı görüntüden resimleri ayırt eder ve uygulamanın gönderdiği resimde yer alan tüm şirket logolarının tespiti yapılır. Bu logoların sahip olduğu şirket isimleri bu uygulama yardımıyla seslendirilip kullanıcıya iletilir. Böylece görme engelli birey, etrafındaki yemek firmalarının neler

olduğunu ve kendi konumuna göre yönlerini kimseden yardım almadan öğrenmiş olur (Atılım Üniversitesi, 2021).

Bu çalışmada, öncelikle yapay sinir ağlarından, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinden ve gerçek zamanlı nesne tespiti yapabilen algoritmalarından biri olan YOLO algoritmasından bahsedilecektir. Ayrıca grafiksel ara yüzlerin tasarlanmasını ve oluşturulmasını sağlayan Qt Designer konusu ele alınacaktır. Nesnelere tanınması için nesnelere eğitim ve test kısmı yapılacaktır. Eğitilen nesnelere kamera aracılığıyla alınıp, arka planda eğitilen model sayesinde tanımlanıp, konumunu bularak, seslendirilmenin nasıl yapılacağından bahsedilecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1.Yapay Sinir Ağları

Teknolojinin gelişmesi göz önünde bulundurulduğunda, önceleri karmaşık hesaplamaları yapmak, sadece elektronik veri transferleri gerçekleştirmek üzere geliştirilmiş bilgisayarların günümüzde ise, büyük miktarlardaki verileri filtreleyip özetleyebilen ve eldeki bilgileri kullanıp olaylar hakkında yorum yapabilen duruma geldikleri görülmüştür. Bu çalışmaların özüne bakıldığında ise bilgisayarlar, yüzyıllar boyunca insan beyninin nasıl işlediğinin merakı sonucu ortaya çıkmış, ilkel hesaplama makinelerinin geliştirilmiş versiyonudur. Teknoloji ilerledikçe insanlar, bilgisayarların işlemleri hızlı yapması gibi, önceki temel düşüncelerinden çok, bu teknolojiye elde edecekleri yarar önemsemeye başlamışlardır. Bazı uzmanlar ise, yapay zekâ bilimi başta olmak üzere, çalışmalarını insan davranışlarının modellenmesi yolunda devam ettirmiş olup, bununla çok önem arz eden gelişmeler ortaya koymuşlardır (Öztemel, 2012).

Yapay sinir ağları, yapay zekâ alanındaki çalışmalarının hızını önemli oranda artırmıştır. Bu da makine öğrenmesinin gelişmesine önemli katkıları olan bir teknoloji olarak görülmüştür. Sanayi toplumunun bitmesi ve sonrasında bilgi toplumunun başlamasına sebep olan etkenlerden biri de yapay sinir ağları olmuştur. Yapay sinir ağları, bir olayın örnekleri ile eğitilip, onunla ilgili olaylar hakkında genelleme yapabilmekte, bilgiler toplayabilmekte ve daha sonra hiç karşılaşmadığı örnekleri görünce, öğrendiği bu bilgileri kullanarak, o örnekler hakkında karar verebilme yetisine sahip olabilmektedir. Yapay zekâ algoritmaları, büyük miktarda veriyi işleme ve geleneksel yaklaşımlar kullanılarak tespit edilemeyen kalıpları ve özellikleri tespit etme gibi yeteneklere sahiptirler (Luckey ve ark., 2020).

Yapay sinir ağlarının ortaya nasıl çıktığından bahsedecek olursak; insan ve insanın düşünme yapısı örnek alınmıştır. İnsanların yaptığı, yorumladığı, anlamlandırdığı bilgileri bilgisayar kendisi yapmaya başlamıştır. Yapay sinir ağlarının kullanıldığı alanlardan bahsedecek olursak; görüntü işleme, ses ve görüntü tanıma, sistem ve kontrol tanımlama, arıza analizi yapma, kestirim ve tahmin etme, haberleşme, mühendislik uygulamaları, tıp, trafik, eğlence amaçlı tahmin ve üretim yönetimi olarak kullanılır (Derin Öğrenme, 2017).

Tablo 1. Geleneksel Algoritmalar ile Yapay Sinir Ağı Algoritmalarının Karşılaştırılması.

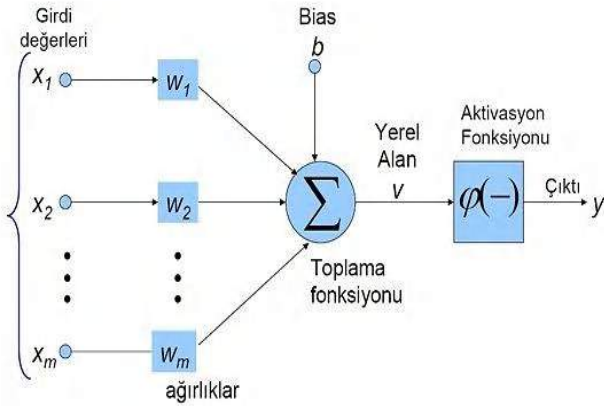
Geleneksel Algoritmalar	Yapay Sinir Ağları
Girişlerin koyulan kurallara uygulanması ile çıkışlar elde edilir.	Kurallar, öğrenme sırasında giriş-çıkış bilgileri verilerek koyulur.
Bilgi ve algoritmalar kesindir.	Deneyimden faydalanılır.
Hesaplama işlemi; ardışık, eş zamanlı ve merkezidir.	Hesaplama işlemi; eş zamansız, toplu ve öğrenmeden sonra paraleldir.
Hazır bilgi depolanmış ve bellek paketlenmiştir.	Bellek ayrılmış olup ağa yayılmış şekildedir.
Hata toleransı sıfırdır.	Hata toleransı bulunur.
Kısmen hızlıdır.	Donanımına bağımlı ve yavaştır.

Yapay Sinir Ağlarının temel ayrımları vardır. Bunlar:

- Öngörü ve Tahminleme
- Sınıflandırma ve Kümeleme
- Kontrol

Yapay sinir ağı, tek hücreden de oluşabilmekte, birçok hücrenin birlikte bulunduğu katmanlardan da oluşabilmektedir. Geri beslemeli, Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA), Tek Katmanlı Algılayıcı (TKA), ADALINE / MADALINE gibi lineer ve lineer olmayan sistemler için geliştirilmiş birçok farklı YSA modeli bulunmaktadır (Metlek ve Kayaalp, 2021).

Bir yapay sinir ağı hücresi Şekil 3'te olduğu gibi, temel olarak girdi değerlerinden, ağırlıklardan, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktıdan oluşmaktadır.



Şekil 3. Yapay Sinir Ağı.

2.2. Makine Öğrenimi

Makine öğrenmesi yapısal ve işlevsel olarak öğrenmeye açık, yorumlama yeteneğine sahip, verileri anlayarak sonuçlar ya da çıktılar ortaya koyan bir sistemdir. Kendilerine bir model oluşturarak çalışmaktadır. Belli bir algoritmaya göre giriş verilerini verip, çıkış parametresiyle istatistiksel tahminler de bulunarak doğru tahmin etmeye çalışan bir öğrenimdir. Makine öğreniminin önemli olmasının sebeplerinden bazıları; Bayes analizinin her zamankinden daha fazla tercih edilir olması, makine öğrenimine olan ilginin artması ve veri madenciliğinden kaynaklanmaktadır. Veri çeşitlerinin ve hacimlerinin artması, daha ucuz ve güçlü olan hesaplanabilir işlemlerin yapılması ve ekonomik olarak verilerin depolanması gibi durumlar makine öğreniminin önemini artmasına sebep olmuştur (SAS, 2021).

Tüm bu durumlarda, daha karmaşık ve büyük verilerin analiz edilmesi ve büyük ölçekli verilerde bile, daha doğru ve hızlı sonuçlar verebilen modelleri otomatik olarak işleme olanağı bulunmaktadır. Ayrıca bu durumun hızlı bir şekilde üretimin mümkün olduğu anlamına gelmektedir. Bu modeller sayesinde firmaların ekonomik fırsatları ortaya koyma veya belirsiz risklerden korunma şansı daha fazla artmaktadır.

Makine öğreniminin bir dalı olan derin öğrenme, bir dizi algoritmaya dayanmaktadır. Verilerde bu öğrenme algoritmaları, üst düzey soyutlamayı modeller. Birçok doğrusal ve doğrusal olmayan dönüşümden oluşan çeşitli işleme katmanlarıyla derin grafiği kullanılır. Örüntü tanıma süreci ve veri sınıflandırmasının uzun süreden beri değerli olduğu bilinmektedir.

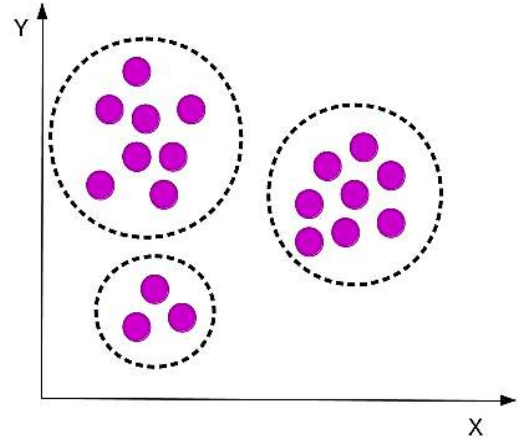
İnsanlar çevreyi algılamak için çok güçlü bir yeteneğe sahiptir. Çevreden algıladıklarına karşı harekete geçer. Büyük veri, makine öğrenimi, veri tabanları ve istatistiklerin çok disiplinli tümleşik yapısı nedeniyle parçalara dönüşür (Fatima ve Pasha, 2017).

2.2.1. Makine Öğrenimi Terimleri

4 temel makine öğrenmesi terimi vardır. Bunları açıklayacak olursak;

a) Denetimsiz Öğrenme

Verilerden çok az bilgiye sahip olduğunda ya da veriler hakkında herhangi bilgiye sahip olunmadığında kullanılan yöntemdir. Kesinlikten bahsedilemez.



Şekil 4 Denetimsiz öğrenme

Denetlenmeyen öğrenmeye örnek olarak:

- Kümeleme (Clustering)
- Anomali Tanıma
- Sinir Ağları
- Gizli Değişken Model Öğrenme Yaklaşımları.

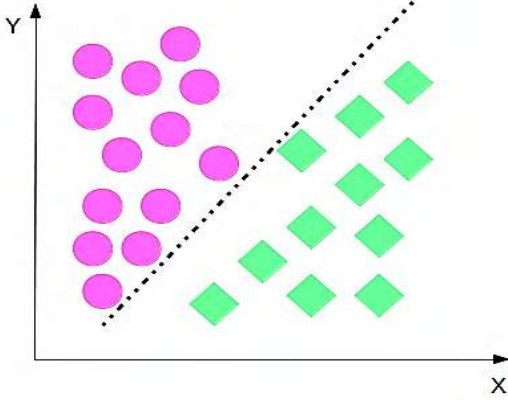
Makine öğrenmesindeki yaklaşımların diğerlerinden farklı olarak, önceki tecrübelerine dayanan kendi yanlılığı ile öğrenir. Ayrıntılı olarak geliştirilen öğrenme durumlarının kendi sırasını üretir, bu da otonom olarak kendini keşif ve insan desteği ile kümülatif olarak yeni becerileri kendi modeline ekler.

Makine öğrenmesi algoritmalarına örnek olarak;

1. Karar Ağaçları Öğrenmesi
2. Birliktelik Kuralı
3. Yapay Sinir Ağları
4. Derin Öğrenme
5. Destek Vektör Makineleri
6. Kümeleme
7. Bayes Network
8. Genetik Algoritmalar

b) Denetimli Öğrenme

Veri kümesinde neler olduğunu bilip ona göre çıktılar beklediğimiz öğrenme yöntemidir. Problem, sürekli çıktılar ile gözlemlenerek çözülür.



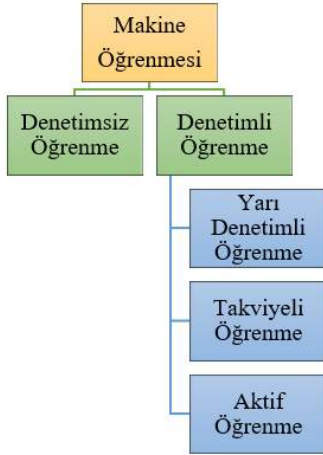
Şekil 5. Denetimli Öğrenme.

c) Yarı Denetimli Öğrenme

Etiketlenmiş veri ile etiketlenmemiş verinin birlikte kullanılmasıdır.

d) Takviyeli Öğrenme

Öğreticinin, üretilen sonuç ile doğru ya da yanlış tahmin demesiyle oluşturulan öğrenme şeklidir.



Şekil 6. Makine Öğrenmesi Yaklaşımları Şeması.

Makine öğrenmesi, problemlerin yaklaşımlarına göre farklılık gösteren çözümler üretmektedir. Bu öğrenme yaklaşımları denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme olarak iki alt kategoride incelenir. Bu kategoriler Şekil 7' deki gibi alt başlıklara ayrılmaktadır.

2.2.2. Makine Öğrenimi Kullanım Alanları

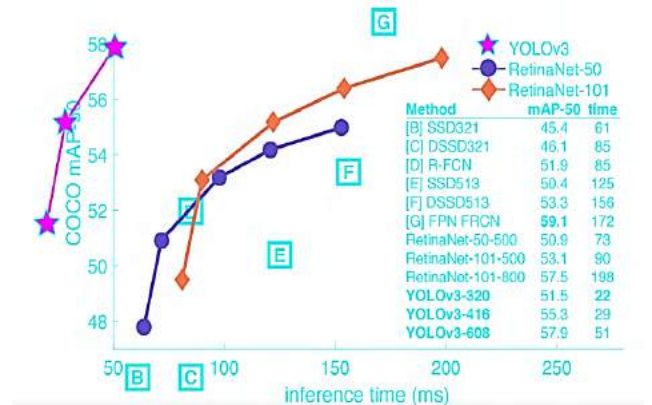
Makine öğrenmesi yaklaşımı açık bir şekilde programlanan algoritmaların büyük işlemler ve veriler üzerinden yeterince performans vermediği durumlarda kullanılır. Ağ analizleri, spam mail araştırmaları, optik karakter tanımlamaya benzer yüksek işlem gücü gerektiren alanlarda kullanılmaktadır. Matematiksel optimizasyon ve teorik hesaplamalarla oldukça yakından ilişkileri olan bilgisayar tabanlı istatistik modellerini içinde barındıran disiplinler arası bir çalışma şekli olan makine öğrenmesi daha çok veri madenciliği alanlarıyla bağlantılıdır. Lojistik, tedarik, üretim ve taşıma alanında; üretimin hızını arttırmak, robotların kollarını

eğitmek ve işlemleri daha verimli hale getirmek için endüstriyel sınıfa giren araçların otomatize edilmesi, gelişmiş incelemeleri yapmak için mikroskopların otomatize edilmesi, Amazon ve Netflix gibi platformların kullanıcı taleplerine göre kaynak dağılımının optimize edilmesi, ERP/ERM (Kurumsal kaynak planlaması) uygulamaları, kalite güvencesinin geliştirilmesi, hangi ürünlerden hangi saatlerde daha çok satılabileceği konusunda tahminlerin yapılabilmesi, cihaz bakımının veya arızasının tahmin edilmesi, üretim performansının artırılması için satış ve pazarlama gibi birimlerde kullanımı, yapay zeka ile geliştirilen asistanlar ile satış görevlerini otomatikleştirme (Fusemachine), satış için elde edilecek fırsatları tahmin etmeye ve bu görevleri otomatik olarak yapmaya yardımcı olma (Salesforce Einstein), halkla ilişkiler açısından elde edilecek performansları artırmak için öngörü sağlama (AirPR), müşteri bölümlenmesinin doğruluğunu yükseltme ve bir müşteri açısından ömür boyu değerini tahmin etme gibi amaçlarla kullanılabilir. İnsan kaynakları alanında işverenlerin, adayları vasıflarına göre ayırma ve bunları tanımlamada yardımcı olurken, yöneticilere ise yetenek yönetimi konusunda yardımcı olmaktadır (Derin Öğrenme, 2021).

Finans alanında ise, yapay zekâ ile çalışan uygulamalarla yatırım açısından yönetim kararlarını güçlendirmekte (Cerebellum Capital, Sentient), şok gelişmeler ve sosyal yönelimler hakkında daha önceden uyarılar vererek gerçek zamanlı finansal kararların alınmasına yardımcı olmaktadır (Dataminr). Ayrıca hisse senetlerinin fiyatını tahmin etmek ve sahtekarlıkları tespit etmek amacıyla da insanlara fayda sağlamaktadır.

2.3. YOLO Algoritması

En hızlı şekilde gerçek zamanlı nesne tespiti yapabilen bir algoritma olarak 2017 yılında ortaya çıkmıştır. Diğer algoritmalara göre hızlı ve doğruluk oranı yüksek bir algoritmadır. Diğer algoritmalarda, gerçek zamanlı nesne tespiti yapmaktadır, fakat YOLO algoritmasının ortalama kesinlik değeri yüksektir. YOLO, nesne algılama için evrişimli sinir ağlarını kullanan bir algoritmadır. Tanıma algoritmalarına kıyasla, bir algılama algoritması yalnızca sınıf etiketlerini öngörmekle kalmaz, aynı zamanda nesnelerin konumlarını da algılar. YOLO algoritmasının diğer algoritmalarından farkı, evrişimli model kullanarak, veriyi daha hızlı işlemesidir. YOLO algoritmasında sıkça kullanılan, COCO veri setidir. Bu veri seti ile yapılan çalışmada, büyük nesnelere %98 başarı oranı sergilerken, daha küçük nesnelere başarı oranının %60 civarında olduğu ortaya konulmuştur. Derin öğrenme yöntemlerinden olan evrişimli ağ temelli model görüntü işleme de kullanılırken ve YOLO (You only look once) ve benzeri algoritmaların nesne tespiti yönteminde kullanıldığı gözlemlenmiştir (TÜBAV, 2020).



Şekil 7. YOLOv3 ve Diğer Algoritmalar.

YOLO algoritmasının diğer algoritmalarından hızlı olmasının sebebi, girdinin sadece bir kez nöral ağdan geçerek, çıktının sınıfını ve kordinatlarını tahminlemesidir.

2.4. COCO' da YOLO Eğitimi

YOLO algoritması, modeli eğitmek için kullanılır. COCO ise veri setini indirmek için kullanılmıştır. COCO verilerinin eğitiminin tamamlanması aşağıda aşamalar ile anlatılmıştır (Pjreddie, 2021).

1.Aşama: Darknet Kurulumu

YOLO algoritmasının çalışması için gerekli kütüphanedir. Bash ubuntu terminali üzerinden aşağıdaki komutlar sırasıyla çalıştırılır.

```
git clone https://github.com/pjreddie/darknet
cd darknet
make
COCO verilerinin bulunacağı dosyayı belirlemeye ve
indirmeye yarayan komutlar.
cp scripts/get_coco_dataset.sh data
cd data
bash get_coco_dataset.sh
```

2.Aşama: COCO için config dosyasını değiştirme

Darknet dizinindeki cfg/coco.data yapılandırma dosyasını verileri aşağıdaki gibi değiştirilmelidir.

```
1 classes= 80
2 train = <path-to-coco>/trainvalno5k.txt
3 valid = <path-to-coco>/5k.txt
4 names = data/coco.names
5 backup = backup
<path-to-coco>COCO verilerinin bulunduğu dizin değiştirilir.
```

Ayrıca test için cfg modeli de değiştirilmelidir. cfg/YOLO.cfg şeklinde olmalıdır.

```
[net]
# Testing
# batch=1
# subdivisions=1
# Training
batch=64
subdivisions=8
```

3.Aşama: Modelin Eğitim Aşaması

```
./darknet detector train cfg/coco.data cfg/YOLOv3.cfg
darknet53.conv.74
```

4.Aşama: Verisetinin test edilmesi

Eğitim için Imagenet üzerinde önceden eğitilmiş konvolüsyonel ağırlıklar kullanılır. Darknet53 modelindeki ağırlıklar kullanılacaktır.

```
Wget,https://pjreddie.com/media/files/YOLOv3-
openimages.weights
./darknet detector test cfg/openimages.data cfg/YOLOv3-
openimages.cfg YOLOv3-openimages.weights
```

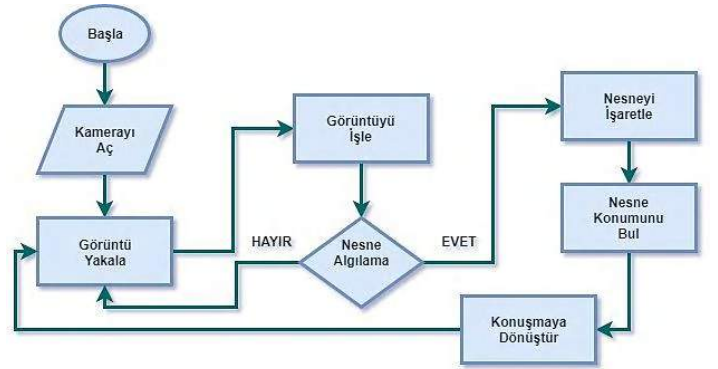
2.5. Ara Yüz Tasarımı

Qt Designer, grafiksel ara yüzlerin tasarlanması ve oluşturulması için kullanılan programdır. Bu uygulamanın ara yüzü bu program ile tasarlanmıştır (Karahasan, 2021). Qt Designer ile oluşturulan widget'lar ve formlar, Qt'nin sinyallerini

ve yuva mekanizmasını kullanarak programlanmış kodla sorunsuz bir şekilde bütünleşerek grafiksel öğelere kolayca davranış atanabilir. Qt Designer'da ayarlanan tüm özellikler, kod içinde dinamik olarak değiştirilebilir. Ayrıca, widget tanıtımı ve özel eklentiler gibi özellikleri, Qt Designer ile kendi bileşenlerinde de kullanmaya olanak tanımaktadır (Q Designer, 2021).

2.6. Önerilen Model

Bu çalışmada geliştirilen modelde kamera aracılığıyla yapılacak işlemlere başlanılmaktadır. Kamera açılması görüntü yakalanır ve görüntünün hangi nesne olduğunu bulması için nesne algılama yapılır. Nesne, eğitilen modeller arasında ise nesneyi işaretler ve nesnenin konumunu tespit eder. Bu konumu seslendirerek konuşmaya dönüştürür. Eğer nesne algılama da sıkıntı olmuş ise tekrar görüntü araması yapmaktadır. Böylece görme engelli bireylere etrafındaki nesnelere seslendirip konumunu vererek yardımcı olan bir model geliştirilmiştir.



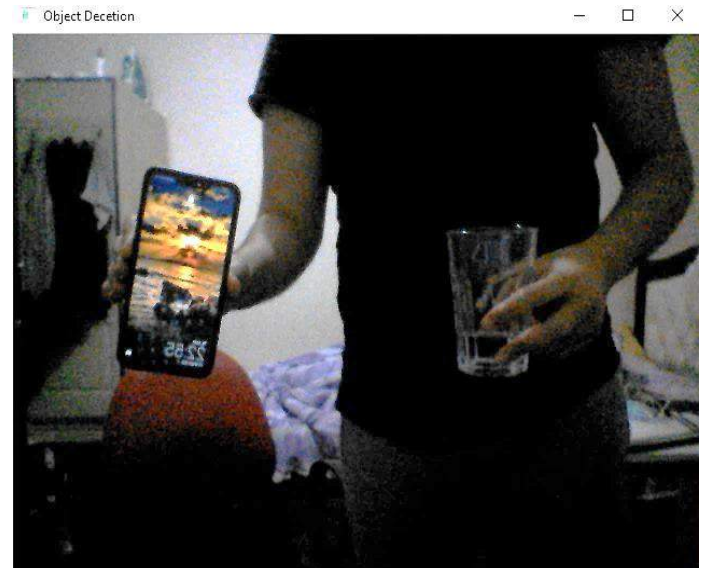
Şekil 8. Önerilen Modelin Akış Diyagramı.

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Programın çalışması için terminale aşağıdaki komut satırı uygulandığında gerçek zamanlı nesne tanıma programı başlayacaktır.

1.Adım: C:\YOLO\python eye.py

Program çalıştırıldığında Şekil 9' da olduğu gibi nesnelere gösterildiğinde, eğitilmiş model ile tanıma işlemi yaparak seslendirme olacaktır.



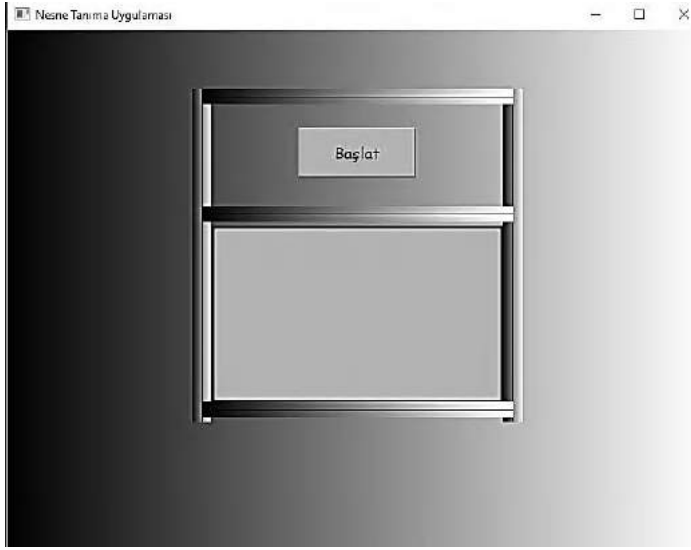
Şekil 9. Nesne Tanıma.

2.Adım: Program çalışırken seslendirdiği nesnelere Şekil 10’ da olduğu gibi terminal de gösterilmektedir.

```
[mp3 @ 000001bb322fb7c0] Estimating duration from bitrate, this may be inaccurate
Input #0, mp3, from 'tts.mp3':
Duration: 00:00:07.56, start: 0.000000, bitrate: 32 kb/s
Stream #0:0: Audio: mp3, 24000 Hz, mono, fltp, 32 kb/s
7.47 M-A: 0.000 fd= 0 aq= 0KB vq= 0KB sq= 0B f=0/0
[orta merkezde insan var ', 'orta sağda fincan var ', 'orta solda cep telefonu var ']
ffplay version 4.1 Copyright (c) 2003-2018 the FFmpeg developers
built with gcc 8.2.1 (GCC) 20181017
```

Şekil 10 Terminalde Seslendirilen Nesnelere Yazıldığı Ekran.

3.Adım: Programı başlatmak ve ekranda kodların görünmemesini sağlamak için ara yüz tasarlanmıştır.



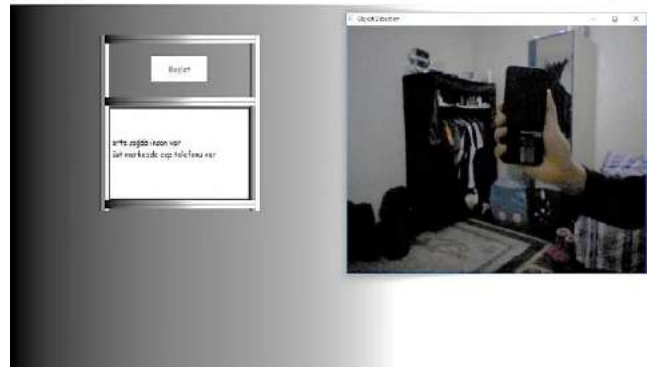
Şekil 11. Uygulama Ara Yüzü.

4.Adım: Ara yüz programı çalıştırılarak Şekil 12 ve Şekil 13’ deki gibi görüntüleri seslendirerek görme engelli bireylere yardımcı olan bir uygulama geliştirilmiştir.



Şekil 12. Ara Yüz Çalışma Örneği-1.

Geliştirilen uygulama sayesinde görme engelli bireylerin etrefinden olan cisimleri tanımasına imkân verilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen uygulama tamamen orijinal bir çalışma olup tüm resimler bu çalışmada verilmiştir.



Şekil 13. Ara Yüz Çalışma Örneği-2.

5. Sonuç

Bu çalışmada, YOLO ile gerçek zamanlı nesne tanıma işlemi yapılmıştır. Eğitilen nesnelere seslendirerek görme engelli bireylere gerçek hayatta yardımcı olacak bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama ile görme engelli bireylerin yaşam standartları iyileşecek ve yanında bir başkası olmadan dışarıya çıkmaya başlayacaklardır. Çünkü bu uygulama görme engelli bireylere yol gösterecek ve telefonlarına indirilerek bu uygulamaya sahip olmaları mümkün olacaktır. Bu araştırmada, görme engelli bireyler için günlük yaşantılarında kolaylık sağlayacak bir uygulama ile, etrafındaki nesnelere tanımlayacak, bu nesnelere seslendirecek, dışarıdan herhangi birine ihtiyaç duymadan yürümelerine ve hayatın akışının onlar için daha kolay olmasına olanak sağlayacak bir proje gerçekleştirilmiştir.

Bu geliştirilen uygulama ile görme engelli bireylerin günlük hayatta sık olarak kullandıkları nesnelere bulmada daha rahat etmeleri ve başına gelebilecek kazaların azaltılması sağlanmıştır. Bu proje ile görme engelli bireylerin hayatında kolaylık sağlanması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmada, geliştirilen model 81 adet nesneyi tanıyor iken, modelin geliştirilmesi ile neredeyse hayatımızda bulunan tüm nesnelere tanıyıcı hale getirilmesi ön görülmektedir. Ayrıca yanımızda taşıyabileceğimiz her türlü teknolojik cihazlara bu uygulamanın entegre edilmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışmada konum belirleme adımı, ekranı dokuz parçaya bölerek yapılmaktadır. Bunlar sağ, orta, sol, sağ alt, sağ üst, sol alt, sol üst, orta alt ve orta üst olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu proje de YOLO gerçek zamanlı nesne tanıma yapılmıştır. Hazırlanan veri seti etiketlenmiş ve YOLO algoritması kullanılarak test aşaması gerçekleştirilmiştir. Etiketlenen verilerin doğruluğunun tespit edilmesi için, nesne tanıma işlemi yapılmıştır. YOLO algoritmasının tercih edilmesinin sebebi gerçek zamanlı nesne tanıma işleminde diğer algoritmalara göre daha hızlı olması ve küçük objelerin tespitinde daha doğru sonuç vermesinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmada, kameradan görüntüyü alıp işleyerek, oluşturulan model ile kameradan alınan nesneyi tanımlayıp, konumunu belirleyip, bunları seslendiren ve görme engellilerin hayatını kolaylaştıracak bir proje geliştirilmiştir. Böylece bu alanda yapılacak çalışmalara örnek olacak bir akademik çalışma yapılmış olması hedeflenmiştir. Bu alanda yapılacak çalışmaların desteklenerek görme engelli bireyler için hayatı kolaylaştıracak uygulamaların geliştirilmesi teşvik edilmelidir. Bundan sonraki çalışmalarda daha farklı yapay sinir ağı modelleri ve farklı veri setleri kullanılarak başarı oranındaki değerlerin karşılaştırılması yapılabilir. Ayrıca bu çalışmalar farklı alanlarda yapılarak sosyal hayatı kolaylaştırıcı uygulamalar geliştirilebilir.

Kaynakça

- Atılım Üniversitesi. (2021) <http://user.atilim.edu.tr/~murat.karakaya/projects/Logo%20Tanima.pdf> (Erişim tarihi:)
- Bauer, Z., Dominguez, A., Cruz, E., Donoso, F. G., Escolano, S., Cazorla, O. M. (2020). Enhancing perception for the visually impaired with deep learning techniques and low-cost wearable sensors. *Pattern Recognition Letters*, 137, 27-36.
- Derin Öğrenme. (2017). <https://www.derinogrenme.com/2017/03/04/yapay-sinir-aglari>. (Erişim tarihi: 22.08.2021)
- Derin Öğrenme. (2021) <https://www.smartmind.com.tr/yapay-ogrenmenin-machine-learning-kullanim-alanlari-i-930>. (Erişim tarihi: 12.08.2021)
- Fatima, M., Pasha, M. (2017). Survey of machine learning algorithms for disease diagnostic, *Scientific Research*, 9 (1), 1-16.
- Karahasan, B. (2021) Pyqt nedir? qt designer nedir? python arayüz tasarımı. <https://birhankarahasan.com/pyqt-nedir-qt-designer-nedir-python-arayuz-olusturma>. (Erişim tarihi: 21.08.2021)
- Luckey, D., Fritz, H., Legatiuk, D., Dragos, K., Smarsly, K. (2020). *Artificial Intelligence Techniques for Smart City Applications*. Springer, 98, 3-15.
- Metlek, S., Kayaalp, K. (2021). Detection of bee diseases with a hybrid deep learning method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (3), 1715-1731.
- Mevlâna Kalkınma Ajansı. (2021) <https://www.mevka.org.tr/Yukleme/Uploads/Dsyahvsky10282019100107AM.pdf> (Erişim tarihi: 18.08.2021)
- Özkaya, U., Öztürk, Ş., Melgani, F., & Seyfi, L. (2021). Residual CNN+ Bi-LSTM model to analyze GPR B scan images. *Automation in Construction*, 123, 103525.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay sinir ağları*. Rifat Çölkesen, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pjreddie. (2021) YOLO: Real-Time Object Detection. <https://pjreddie.com/darknet/YOLO>. (Erişim tarihi: 27.08.2021)
- Qt Designer Manual. (2021) <https://doc.qt.io/qt-5/qt designer-manual.html>. (Erişim tarihi: 28.08.2021)
- Rahman, W., Tashfia, S.S., Islam, R., Hasan, M., Sultan, S., Mia, S., Rahman, M. M. (2021). The architectural design of smart blind assistant using IoT with deep learning paradigm. *Internet of Things*, 13.
- Sait, U., Ravishankar, V., Kumar, T., Bhaumik, R., Lal, G., Bhalla, K., Sanjay, K. S. (2020). Design and development of an assistive device for the visually impaired. *Procedia Computer Science*, 167, 2244-2252.
- Sas.(2021)https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/machine-learning.html. (Erişim tarihi: 22.08.2021)
- Sreeraj, M., Joy, J., Kuriakose, A., Bhameesh, M. B., Babu, A. K., Kunjumon, M. (2020). VIZIYON: Assistive handheld device for visually challenged. *Procedia Computer Science*, 171, 2486-2492.
- Tübav, B. (2020). Real-time vehicle detection by using deep learning methods, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 13 (3), 1-14.
- Veri Gazeteciliği. (2021) <http://www.verigazeteciligi.com/solo-proje-turkiyede-gorme-engellilere-ozel-egitim-veren-sadece-17-ilkokul-var> (Erişim tarihi: 28.08.2021)
- Vizyoner Genç. (2021) <https://vizyonerengenc.com/icerik/yapay-zeka-gorme-engelliler-icin-engelleri-ortadan-kaldiriyor> (Erişim tarihi: 13.08.2021)
- World Health Organization. Blindness and vision impairment. (2021). <https://www.who.int/en/news-room/factsheets/detail/blindness-and-visual-impairment> (Erişim tarihi: 15.08.2021)
- Yılmaz, O., Gürhanlı, A. (2020). The application of drug recognition based on artificial neural networks for visually impaired individuals. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul*.



Industry 4.0 Perception Regarding to New Developments and New Trends of Industries

Ayşenur Erdil^{1*}

¹İstanbul Medeniyet University, Department of Business Administration, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6413-7482), runesyalidre@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.985359)

ATIF/REFERENCE: Erdil, A. (2021). Industry 4.0 Perception Regarding to New Developments and New Trends of Industries. *European Journal of Science and Technology*, (28), 228-240.

Abstract

The purpose of this research is to assess the core principles of Industry 4.0, its advantages, literature review, and effective implementation techniques. Searching for published publications may demonstrate recent developments of industries with big data of production system and technology. Industrialization is a catch-all term for a wide range of modern automated systems, data exchanges, and manufacturing technologies. This revolution is a set of ideals comprised of the internet of things, online services, and cyber-physical systems. While the Industry 4.0 model represents a revolution in every aspect, it also delivers numerous breakthroughs, transformations, and adjustments. This research examines the evolution, technical advances, and benefits of Industrial 4.0, gives a brief background to this configuration and its use in industry implementations, and emphasizes the key components influencing successfully businesses. Furthermore, it is underlined those organizational innovations are required for the industry 4.0 revolution in terms of product, process, and business advancements. As a result, a significant deal of innovation is necessary in many sectors before the industry 4.0 model can be implemented. In product, process, business, and operational terms, innovation refers to variety that creates additional value. To that end, the ideas of Industry 4.0 and innovation are described briefly, followed by an examination of innovation through the lens of Industrial 4.0, with illustrations and concepts provided. It is abundantly clear through publications that are being searched those sectors and industries are making use of big data in the production environment and information. This research reflects on the developments of framework-structure in the environment of industry for the business-companies. The research also contains the aspect-application of the industry 4.0 technology depending on manufacturing system and improvement phases of manufacturing-production of the company. The application via Industry 4.0 technology of a white goods manufacturing company was evaluated on behalf of manufacturing performance and effectiveness of this manufacturing enterprise according to inputs and outputs components of manufacturing system for the analysis in terms of operation management and the business expectation.

Keywords: Business, Industry 4.0, Industry-Sector, Innovation, Manufacturing-production, Technology

Yeni Gelişmeler ve Sektörlerin Yeni Trendlerine İlişkin Endüstri 4.0 Yaklaşımı

Öz

Bu araştırmanın amacı, Endüstri 4.0'ın temel ilkelerini, avantajlarını, literatür taramasını ve etkin uygulama tekniklerini değerlendirmektir. Böylece özellikle üretim sistemi ve teknolojisine ilişkin büyük veriler içeren endüstrilerdeki son gelişmeleri göstermektedir. Sanayileşme, çok çeşitli modern otomatik sistemler, veri alışverişleri ve üretim teknolojileri için kapsamlı bir terimdir. Bu terim, nesnelerin interneti, çevrimiçi hizmetler ve siber-fiziksel sistemlerden oluşan bir idealler dizisidir. Bu araştırma, endüstriye 4.0'ın evrimini, teknik ilerlemelerini ve faydalarını incelemekte, bu yapılandırmaya ve endüstrideki kullanımına bir arka plan oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma, endüstrideki uygulamaları ve başarılı işletmeleri etkileyen temel bileşenleri vurgulamaktadır., endüstri 4.0 modeli için ürün, süreç ve iş gelişmeleri açısından organizasyonel yeniliklerin gerekli olduğunun altı çizilmiştir. Endüstri 4.0 modelinin uygulanabilmesi için birçok sektörde önemli ölçüde yenilik yapılması gerekmektedir. Ürün, süreç, iş ve operasyonel terimlerde inovasyon-yenilik, ek değer yaratan çeşitliliği ifade eder. Bu amaçla, çalışmada endüstri 4.0 ve inovasyon fikirleri açıklanmakta, terimsel kavramlarla birlikte endüstri 4.0 merceğinden inovasyon incelemesi yapılmaktadır. Bu araştırma, işletmeler için sanayi ortamında endüstri 4.0 kapsamında gelişmeleri yansıtmaktadır. Araştırma ayrıca, şirketin üretim sistemine bağlı olarak endüstri 4.0 teknolojisinin uygulama ve imalat-üretimini iyileştirme aşamalarını içermektedir. Çalışmada, bir beyaz eşya imalat firmasının endüstri 4.0 teknolojisi ile yaptığı uygulama, operasyon yönetimi ve iş beklentilerin analizine yönelik üretim sisteminin girdi ve çıktı bileşenlerine göre bu imalat işletmesinin üretim performansı ve etkinliği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşletme, Endüstri 4.0, Endüstri-sektör, Yenilik, İmalat-üretim, Teknoloji

*Corresponding Author: runesyalidre@gmail.com

1. Introduction

Industry 4.0 is transforming how businesses create, enhance, and advertise their products. Producers are incorporating new digital technology machine learning and business intelligence, and AI and computational capabilities into their manufacturing structure and materials. These entrepreneurs in the future are integrated with modern sensors, computer simulation, and robots to address research questions and make smarter decisions. When intelligence from manufacturing processes is used, it creates more and more revenue (Chiarello et al., 2018; Vaidya et al., 2018; Infineon, 2021).

Industry 4.0; It is the name given to the new Industrial Revolution that emerged with the use of Internet of Things (IoT), Big Data and Machine-to-Machine Communication technologies, where business processes are managed with data-based scientific methods. With these technologies, in the system architecture where all the equipment in the production area is defined with a unique internet address; A Smart Manufacturing infrastructure will be created where all data produced at any moment in all processes is stored, processed with user-defined formulas and algorithms, turned into meaningful information for process managers through Big Data Analytics, and autonomous production processes are built with rule-based scenarios. In other words, an ideal integration of all hardware and software within company assets is aimed. In order to catch this wave of technology that promises revolutionary changes and unique possibilities under the title of Industry 4.0 comprises data generating points, communication infrastructure that transfers the generated data, big data software that processes and reports the transferred data and a communication network that provides communication between machines should be established (Adolph et al., 2014; Marr, 2017; Yao et al., 2017; Chiarello et al., 2018; Vaidya et al., 2018; Xu et al., 2018; Infineon, 2021).

In order to realize this vision in a holistic approach, products, standards and application practices are developed intensively all over the world. In order to catch the industry 4.0 Revolution, businesses do not have a single roadmap with clear lines in front of them. Companies can only reach Industry 4.0 with the strategies they will determine in line with their own visions, even new business models that this revolution will make possible, and their reason for existence - mission.

2. Perspective of Industry 4.0

Industry 4.0 is often known as the fourth industrial revolution, denotes a transitional period in the structure and control of the commercial production process. To comprehend Industry 4.0, it is necessary to consider the entire process, that mostly working capital management and the origins of the

materials and equipment working in diverse forms of smart manufacturing, the reduced flow supply-chain management, and the desired outcome of all industrial production, depending on the number of independent third-party stages and participants: the terminal purchaser. While intelligence from manufacturing operations is integrated with business intelligence via ERP, chain management, customer relations and other business functions, entire new dimensions of accessibility and understanding from widely separated personal details are generated. Although many businesses are also in disapproval with how Smart manufacturing will affect their corporation or are attempting to find the natural ability or real understanding to want to incorporate it for their segments, others are demanding adjustments recently and making preparations for a longer term from which artificial intelligence satisfy their needs and wants (Adolph et al., 2014; Yao et al., 2017; Chiarello et al., 2018; Vaidya et al., 2018; Xu et al., 2018; Infineon, 2021).

The First Industrial Revolution emerged at the end of the 18th century with the discovery and use of steam energy and machines working with this energy. The second revolution took place with the invention of machines that developed with the invention of electricity and were faster. The third revolution took place in the 70s, when electricity was replaced by electronics, and production became more efficient thanks to automation and computers (Gerbert et al., 2015; Ozkaya et al., 2021; Vyas, 2018).

2.1. Innovation Concept

Innovation is bred in a nurturing way, and that's how they're bred. Innovation is Nova, derived from the Latin verb "of variety". It is not translated into meanings such as innovative, innovative, renewing. Through the Latin verb innovare, which implies to refresh, comes the term "innovation." The definition of the term has remained essentially the same since its inception. A method, a product, or a service can be improved or replaced via innovation. However, in the context of corporations, the word has to be defined. The corporate world is a complicated place, and a definition is necessary. Innovating is the process of renewing and modernizing an industry, product, or service via the application of new methods, the introduction of new technologies, or the establishment of innovative concepts that produce new revenue. When it comes to invention, it means innovating for processes or goods, but innovation goes one step even more and includes putting these ideas into action. An innovative act is accompanied by an associated value strategy that encourages a good consequence. (What is Innovation, 2021; Industrial Revolution Industry 1.0 to Industry 4.0, 2021; Innovation Management, 2021).

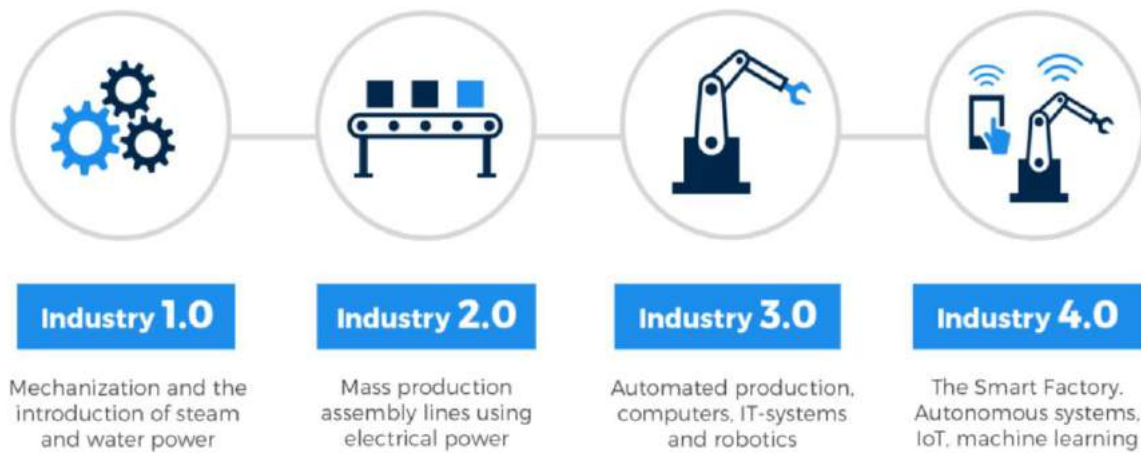


Figure 1. Industrial Revolution Industry 1.0 to Industry 4.0 (Dima, A., <https://kfactory.eu/short-history-of-manufacturing-from-industry-1-0-to-industry-4-0/>, Access Date: 21.05.2021)

Through the First Industrialization (Industry 1.0) in the 18th century, rather than always goods getting created by hand, methods were devised that permitted commodities to be constructed by machines. This originated in England in 1760 and eventually made its way to the United States by the end of the 18th century. The First Industrial Revolution signified the transition from an agricultural society and economy driven by machines, and it had a profound influence on sectors such as construction, weaving, bottle, and farming. As a consequence of substantial railroad and communication networks, which provided for speedier transport of people and technologies, the Second Industrial Revolution (Industry 2.0) occurred. With the explosion of the internet, industries were able to create sophisticated manufacturing facilities. The Third Industrial Revolution (Industry 3.0), often known as the Digital Revolution, started in the early of the twentieth century with social networking technologies including the use of consciousness controllers and computers. The mass manufacturing and extensive usage of digital logic, Semiconductor electronics, and embedded system chips, as well as their derivative technologies such as computers, microcontrollers, digital mobile phones, and the World wide web, is the primary focus of this period. Conventional manufacturing and commercial practices have been altered as a result of technology advancements. Essentially, we may argue that the technological age turned conventional knowledge into a digital system. Recent times, everyone is talking about Industry 4.0, which is an association of physical resources and enhanced digitalization such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), robots, drones, autonomous driving, 3D printing, cloud technology, and others that are associated and have the skills to interact, analyze, and operate. Organizations that implement Industry 4.0 seem to be more adaptable, adaptive, and sophisticated, and hence better positioned to make bandwidth choices (Duxbury, 2012; Adolph et al., 2014; Bauer et al., 2015; Gerbert et al., 2015; Vyas, 2018; Dima, 2021; Industrial Revolution Industry 1.0 to Industry 4.0, 2021; see figure 2).

Industry 4.0 is a concept introduced at a technology fair in Germany in 2011. It is also seen that this concept is explained as the 4th Industrial Revolution in some sources. Industry 4.0 is known as a German project. The reason for Germany to initiate such a project is the opportunities that China has in the field of production, which has seriously shaken the European states economically. In the face of this superiority of China, countries such as Germany, America and Japan have turned to the industry 4.0 project. The aim of this project is to carry out all vital mechanisms together with information technologies. This project is a set of three-stage systems, namely the internet of things, the internet of services and cyber-physical systems. While Industry 4.0 adopts an extremely fast and practical production approach, it also aims to prevent waste while making this production. This application, which is planned to bring a new order to the world's life, will be equipped with smart equipment and all systems will work in an integrated manner. It is planned that this system will be fully implemented within 20 years at the latest. With this system, which will completely restructure the production and consumption life, this distribution, which can be replaced by rich-poor countries, will change. There will be gaps in income distribution between countries. There are not enough resources available on this subject. Each country has a research unit established in this field. Although this project seems to affect only the factories and production life, it will indirectly affect our social lives in many positive and negative ways (Schmidt et al., 2015; Gerbert et al., 2015; Gartner Group, 2017; Cedeño et al., 2018; Duysak et al., 2021 Vaidya et al., 2018).

Innovation is considered as the successful implementation of productive ideas and the acceptance of these ideas by various stakeholders in their ecosystem. The word innovation is derived from the Latin verb "innovatus". Innovatus means to change, to innovate, to renew. According to Christopher Freeman; Invention, innovation and innovation are different concepts. While invention is a blueprint, idea or model for a new or improved tool, method or system, innovation is the economic use of new production, method, system or tools that include

value creation processes, that is, their conversion into economic value. The following situation can be given as an example to reveal the difference between innovation and invention: When the sewing machine is mentioned, the Singer brand developed by Isaac Singer comes to mind. But the sewing machine was actually invented by Elias Howe in 1846. Isaac Singer has transformed this sewing machine into innovation by adding economic value (Duxbury, 2012; Chiarello et al., 2018; Douaioui et al., 2018; What is Innovation, 2021; Innovation Management, 2021).

Depending on the consideration of some important concepts in this concept, these are interoperability, that is, an environment where people will work in harmony, virtualization, that is, the virtualization of smart factories by copying, autonomous management is the authority of the system in question to make independent decisions within the smart factory, all data collected in real-time can be processed quickly. way it can be analyzed. In other principles, research can refer to service orientation and modularity (Gerbert et al., 2015; Chiarello et al., 2018). Types of innovation are presented as below (OECD, (2005). Oslo

Kılavuzu): product innovation, process innovation, marketing innovation and organizational innovation.

- Product innovation can be the use of new information or technologies, or the opening of existing knowledge and technologies to new uses or a combination of these.
- Organizational innovation, on the other hand, is the application of an effective and new organizational method and approach in the commercial practices, external relations and management processes of institutions.
- Process innovation is defined as the creation of a significantly improved and new method of delivery or production, the use of equipment, tools and information in technology that will enable to produce existing products faster, with better quality and at lower cost.
- Marketing innovation is the implementation of a new marketing method that involves significant changes in product placement, product promotion, product pricing, product design or packaging.

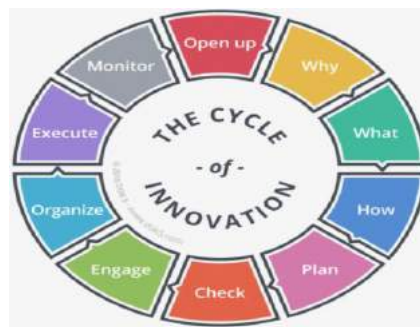


Figure 2. Cycle of Innovation (The Cycle of Innovation, <https://dok5.nl/en/the-cycle-of-innovation/>, Access Date: 21.05.2021)

The Cycle of Invention begins with the idea that technology is no longer performed in glorious seclusion in institutions, but rather in cooperation with other individuals (see figure 2); (i). With that of the natural ecosystems help, user may seek to create into the actual reasons why you need to develop (ii). Assuming individuals understand why, guests could determine what the minimum required of entrepreneurship would offer and when it should give it (iii). Users explore how you will accomplish these innovative objectives (iv). And then devise a strategy to make it a reality (v). This involves validating the assumptions that you developed in earlier phases (vi). Following that, you invite all stakeholders in your eco-system to assist (vii). Users create a successful organization based on the innovation objectives and plan. (viii). Users establish an organizational culture and implement a continually developing, business environment centered on approach focusing on someone innovation objectives and strategies (ix). The Cycle's last approach relies on monitoring performance, gathering insights, and changing direction (x). Then it's appropriate to gaze outdoors and restart

the Cycle (The Cycle of Innovation, 2021; Innovation Cycle, 2021).

2.2. Industry 4.0 and Innovation

Industry 4.0 represents the transition to an innovation-based economy with information, data and IoT. opens. Industry 4.0 allows to respond to customer needs faster than possible. It forms the basis for the adoption of new business models, production processes and other innovations by increasing the flexibility, speed, efficiency and quality of the production process. Innovative developments in the field of communication, internet and information technologies are the basic building blocks of the industry 4.0 revolution. In addition to the benefits of the industry 4.0 revolution, there are some disadvantages in terms of social, environmental, political, legal, economic and technical issues. In order to avoid these disadvantages, it is necessary to design innovation-based production processes and develop new service-oriented business models. With the continuous development of technology in production, the innovative production approach has shown itself. This view reveals the link between Industry 4.0 and innovation. Because Industry 4.0 is closely related to innovation as it is an industrial revolution that includes high technological development and

transformation. With Industry, innovative, efficient and error-free products have started to appear, and innovations in production have increased with smart factories (Lee, I and Lee, K., 2015; Vaidya et al., 2018; Xu et al., 2018).

A model of a micro-intelligent factory system is being built in Kaiserslautern, Germany. Soap bottles are shown as an example to form an idea of how devices and products in this factory will communicate. The colors on the bottles can be recognized with the special RFIF labels on the bottles. This is one of the simplest examples of cyber-physical communication. As a result of some developments that started with Industry 4.0, changes were not experienced only in the production departments of the companies. This development has been instrumental in keeping up with the change in different departments that are efficient in all stages affecting production, take into account customer requests, and provide timely and perfect service. Many smart systems such as WIFI, RFID, POS devices, which were used before this development, but we can say that they are all used for a common purpose today, are collected in some processes such as producing, purchasing and marketing all kinds of data related to companies. In this way, the issue of how to transform many large-scale data collected in cloud systems into information has become a very important issue. This situation has created the field of data science, which has become widespread rapidly and has made it necessary to employ data scientists in the departments of the organizations. Concepts such as data mining, artificial intelligence, machine learning, which are sub-branches of data science and included in business intelligence, which support decision-making processes in all matters related to institutions, are frequently used. However, with Industry 4.0, the importance of these concepts has been understood much more and thus their importance has increased (Duxbury, 2012; Gerbert et al., 2015; Schmidt et al., 2015; Morrar et al., 2017; Chiarello et al., 2018; Xu et al., 2018; Cedeño et al., 2018).

3. Literature Review

3.1. Findings from the Literature Review

The 4th Industrial Revolution, that is now underway, poses a range of electronic, structural, and administrative difficulties for manufacturing businesses. Significant changes in the sphere of work are predicted as a result of the application of new technologies and the transformation of processes, and future production systems will necessitate new capabilities from people. Processes are projected to become more accessible, decentralized, and less structured as working environment becomes more adaptable in time and place (Picot and Neuburger, 2014; Horváth and Szabó, 2019).

Industry has become increasingly willing to participate in the development of new technologies to maintain organizational competitive advantages and encourage them to make adjustments to sequentially changing external environment such as during out lifespan, interpretations, and modifying customer expectation, in alignment with the anticipated changes (Spath et al., 2013; Adolph et al., 2014; Lasi et al., 2014; Bauer et al., 2015; Horváth and Szabó, 2019).

There is a scarcity of broad field research on Industry 4.0 and the productivity of Malaysian manufacturing businesses. The article briefly explains the major technologies of Industry 4.0 and rates them in terms of absolute frequency as indicated in the literature. The research topics that have been established

involve the link between productivity and Industry 4.0 technology. Productivity is a critical component of manufacturing businesses' competitiveness. As a result, prior to implementing new manufacturing technologies, Malaysian manufacturing businesses must do research on the link between Industry 4.0 technology and productivity. Throughout response to numerous approaches, this theoretical study aims to apply framework for future research on the link involving Industry 4.0 technology and Local construction business productivity (Karl and Nadarajah, 2019). Besides from higher efficiency, other projected advantages include streamlining automation processes and enhancing product customization. A platform for the beneficial adverse effects of Industry 4.0 on sustainability is also being created. The development of a system of thought for the application of Industry 4.0 in multinational corporations (MNCs) has begun. The emphasis is on the specific problems of integrating Industry 4.0 in an MNC's company operations of research & innovation, vision realization, technology management, and supply chain (Dalenogare et al., 2018; Kamble et al., 2018; Telukdarie et al., 2018).

Alborzi and Khanbabaei determined the behavior of customers by creating customer credit scores by analyzing the usage information of bank cards belonging to customers of a bank in Iran. They have also succeeded in dividing customers into classes with the approach of artificial neural networks. In 2016, Culotta and Cutler analyzed customers' brand perceptions in a cost-free and effortless way using the data they collected from social media. In this study, in which they used the techniques of data mining, they did not analyze the content created by social media users, but instead analyzed the networks created by the customers of this brand. Ghazavi and Lotfi also offer some ideas to authorized people about shelf design by using the mathematical formula they developed for customers to navigate around the store in 2016. Artificial intelligence techniques were used in this study. It has been understood that the online comments made by the customers about the easy decision making of the companies during the development of new products can be transformed into useful information with an analysis. Kaneko and Yada, on the other hand, using the data on shopping transactions and browsing in the store belonging to a group of supermarket customers, they found that the customers buy more products as they browse through the store. This collected data is the data revealed by matching the customers' POS data with an RFID tag attached to the shopping carts that customers use while shopping (Alborzi and Khanbabaei, 2016; Culotta and Cutler, 2016; Ghazavi and Lotfi, 2016; Kaneko and Yada, 2016).

Manufacturing, as researchers perceive it, is entering a period. New industrial innovations and creative ways of participating in industry to achieve business performance are always on the horizon. As a result of past study findings, a new issue is being posed, such as: how could industrial production grow increasingly competitive, adaptable, and the ecological consequences required to support a corporation's sustainable development achievement? Sustainable construction includes optimizing processes in order to reduce negative consequences and remove possible challenges to generate wealth (Cedeño et al., 2018; Onu and Mbohwa, 2019; Onu and Mbohwa, 2019). The current study of the researchers investigates the potential and difficulties of 4IR deployment for corporate social responsibility in order to improve SMEs' sustainable companies and policy decisions to boost techno-innovativeness, especially

in Developing countries. This study seeks to assist corporate entrepreneurship professionals and policy campaign managers in commercial and public cooperatives in developing industrial alternatives that would support the incorporation of information innovations and long-term value chain enterprise (Cedeño et al., 2018; Onu and Mbohwa, 2019; Onu and Mbohwa, 2019).

In another study conducted in 2016, customer comments were analyzed to support the decision-making processes of product designers. During this analysis, similar comments on an online shopping site and sentiment analysis of these comments were included. The aim of this study was to shape the designs of the products according to the needs of the customers. In this study, in which the comments on many models of many mobile phone brands were examined, customers mostly commented on the features of the phones such as batteries, screens and memory. These analyzed comments are also grouped as positive and negative comments. Rodrigues and Ferreiea, on the other hand, wrote an algorithm by dividing the customers of a perfumery chain into three groups, and accordingly, the products suitable for these groups were suggested to them. Weng, on the other hand, stated that the support value of a product released later on with another product that was released before it would be low. In this way, he wrote a new algorithm for the analysis of the coexistence of products entering the market at different times (Rodrigues and Ferreira, 2016; Weng, 2016).

The study of Kamble et al. (2018) aims to identify the main hurdles to Industry 4.0 implementation in the Manufacturing and services sector and suggests how industry professionals and decision makers may make significant progress to effective Industry 4.0 implementation. The study technique was a combination of interpretative structural modeling (ISM) and fuzzy MICMAC (Matriced' Impacts Croise s Multiplication Applique e an un Classement) assessment. This study contains interpretative structural modeling (ISM) to create linkages between obstacles and uses fuzzy MICMAC (Matriced' Impacts Croise s Multiplication Applique e an un Classement) parameter controls the motivating and reliant potential of obstacles (Kamble et al., 2018).

Including its understanding of the term, Industry 4.0 is accessible to any type of organization and any size of organization, including SMEs. Nonetheless, due to the complexity and specific resources required for this transformation, SMEs will naturally face difficulties in adopting the difficulties associated with sustainable development; consequently, any methodologies and/or tools that aid in trying to guide and standardizing its incorporation are greatly appreciated. The research previously includes various approaches to comprehend the conceptual framework and actions to follow, as well as development plans to help strategic decision-making processes (Kagerman and Johannes, 2013; Lichblau et al., 2015; Schumacher et al., 2016; Proença and Borbinha, 2016; Ganzarain and Errasti, 2016; Amaral et al., 2019).

The importance of the issue starts with an emergence of Industry 4.0 and its significance, then moves on to what performance measures are and why they are essential in this environment. A study of the research on Industry 4.0 existing resources is conducted, followed by an assessment of their appropriateness for SMEs. In the third portion of the research, a framework for SMEs to develop and execute Industry 4.0 is suggested, consisting of a set of activities that SMEs would

contemplate if they want to survive on the route to Industry 4.0 (Kagerman and Johannes, 2013; Lichblau et al., 2015; Schumacher et al., 2016; Proença and Borbinha, 2016; Ganzarain and Errasti, 2016; Amaral et al., 2019). Tanaka developing a work with his analysis in 2017 has been classified according to their importance to customers of a supermarket chain in Japan. The Tsai study, on the other hand, revealed an intelligent system that predicts the purchasing behavior of customers. This system in question consists of four main contents.

Singh and Tucker (2017) show that reviews about products on the Internet play an important role in customers' decision to purchase. For this purpose, using the machine learning approach, it automatically divided the comments made by the customers into two groups (Tanaka et al., 2017).

In 2018, Griva groups customers according to their visits to the store, using clustering and association rules, which are basic data mining techniques, and sales data. This study, unlike the previous ones, is not based on the products that a customer buys in one visit, but according to the products he buys in many visits. In this way, the purpose of the last visit of the customer can be determined. In 2018, Vincent classified the data of a group of customers using data mining techniques in order to achieve success in fashion design. With the results that emerged as a result of this, it was understood what kind of design the customers wanted in their new orders and gave ideas to the companies on this subject (Griva et al., 2018; Vincent et al., 2018).

Industry 4.0 is driving aspects of organizational models, resulting in the creation of modern developments as well as the retirement of current professions that will be replaced by smart machines and gadgets. The start of the Fourth Industrial Revolution is characterized as developing nations, which may take some years to execute. Skills, talents, and understanding in the workforce would all need to be improved. The research of Holubčík et al. (2021) provides insights in an information and decision-making system for the whole supply chain. The first step is to acquire information. During first step, an in-depth examination of manufacturing and production regulations was undertaken in close collaboration with production workers considered in the process approach (Holubčík et al., 2021). In Bravi and Murmura' study, barrier arises from the fact that the consequences cannot be thoroughly representative of the overall economic situation due with the use of theoretical framework, both descriptive and analytical; on the other hand, the additional benefit is accurately of just being willing to investigate in depth some relevant positive characteristics, which survey method frequently completely ignores. Future study might expand on the findings by employing a quantitative data collecting technique on a wider sample of Planned to make in Italy manufacturing businesses, engaging additional essential stakeholders such as employees, distributors, collaborators, and establishments (Bravi and Murmura, 2021).

To investigate environmental implications, a methodology product or service, procedure, and structure sustainability measurement groupings is used. The research of Enyoghasi and Badurdeen (2021) shows that the research is still constrained in encouraging innovation for profile and performance report at differing stages incorporating Enterprise systems; the implications of Emerging technologies on many requirements regarding the brand, operation, or system level sustainable

development has not yet been investigated. The performance comparison and complex structural are utilized to identify future research objectives and possibilities for utilizing Industry 4.0 technology for even more sustainable production. The consequences for enterprise of establishing a framework (Enyoghasi and Badurdeen, 2021). The results of the study of Enyoghasi and Badurdeen (2021) may be used to determine and propose implications of the findings with the use, sustainability, and closing governance of productive assets that should be carried out (Tseng et al., 2018). These suggestions encourage the research establishment to use technical advancements in Industry 4.0 to foster close-loop, 6R-based commodity movements in order to reap advantages from many TBL viewpoints (Enyoghasi and Badurdeen, 2021).

Researchers present a framework for describing and categorizing Industry 4.0 technologies, which influence both manufacturing and product development. The suggested framework is required to serve as the foundation for a systematic and consistent definition of present technology, as well as to differentiate the associated operations together within product development process. The main concept is to combine current models of cyber-physical production systems with known descriptions of key stages of the innovation building and improving a framework for defining Industry 4.0 advancements in manufacturing and product generation. The broad usage of the phrase "Industry 4.0" contributes to a muddled comprehension and a plethora of definitions. The broad usage of the phrase "Industry 4.0" results in a muddled comprehension and a plethora of descriptions of applicable technologies. Additionally, traditional models and approaches for describing the similarities and differences of Emerging technologies frequently focus on production systems and do not provide a foundation for understanding innovations that encompass literally the entire product development process (Inkermann et al., 2019).

The purpose of Vishal and Vinodh 's study (2021) is to identify significant difficulties associated with Industry 4.0 adoption in the automobile industry and to analyze the identified challenges and obstacles to prioritize them for systematic implementation in Indian automobile industry (Vishal and Vinodh, 2021). This finding emphasizes the need of laying a technology foundation as well as focusing on increasing labor abilities in order to promote I4.0 implementation. As a result, it is probably encouraged that, prior to implementing Industry.0, Indian automotive businesses should first create rules for Industry.0 technical development in the production shop. The study's conclusions helped practitioners to take suitable actions toward Industry 4.0 commercialization (Vishal and Vinodh, 2021). In other study, the researcher evaluates the potential implications of the Fourth Industrial Revolution on labor markets. The implications, possibilities, and difficulties of the operation are explored in a better perspective through an analysis of the report and assessment of recent technologies with Industry 4.0.

This issue is typically associated through the use of robotics in industry and manufacturing, three-dimensional printing, the adoption of new technologies, and big data research. These improvements, also based on the Internet of Things, the Instant messaging of Everything, or the Industrial Internet, are distinguished from industrial age by four distinctive characteristics: Cyber-Physical Systems (CPS), Big Data and Digital Information Exchange, Smart Robots, and Digital Industrialisation. As a result, smart factories will automatically

adjust production circumstances to current circumstances and coordinate manufacturing plans based on ordering demarcation (Kurt, 2019). Implementing such innovative technology provides the National industry a competitive advantage (e.g., greater performance across more up-to-date data, faster service supply). Integrated and interconnected platforms, goods, and operations provide greater product quality while using less resources. Furthermore, digitalization is generating innovative business models for manufacturing. On the other hand, the industry is undergoing transition as a result of shifting border circumstances. Expanding internationalization, more unpredictable product life phases, growing economy, global warming, and population change are some of these factors (Abele and Reinhart, 2011; Bruhn and Hadwich, 2017; Niemeyer et al., 2020).

The industry 4.0 is commonly referred to as Business sector 4.0. In 2011, the phrase "Industry 4.0" has been coined in Central Europe as a proposal to change model of European industrial policy. The term smart industry, often known as "Industry 4.0," refers to the technical progression from business applications to Cyber Physical Systems (CPS). The confluence and application of nine modern technological innovations constitutes Industry 4.0. Intelligent automation, manufacturing technology, mixed reality, artificial intelligence, operational excellence, internet of things, cloud computing services (CCS), cyber security and Big Data, and business intelligence are examples. Cloud computing and CPS are inextricably linked. Because CPS will create a significant quantity of data, known as big data, in order to increase system scalability, security, and efficiency. Big data is defined as "a connection that discreetly links and combines the real environment, human civilization, and cyberspace (Jin et al., 2015; Xu et al., 2018).

Internet of technology (IoT) offers a great potential for real-time collecting data, delivering meaningful information, and predictive analysis at a cheap cost, while also entering a new horizon of a transaction strategy for producing additional value. Combining Big data, a huge spectrum of information related via IoT may deliver personalized services (Trappey et al., 2017; Aheleroff et al., 2020). This research intends to address the voids by converting traditional electronic gadgets into IoT-enabled intelligent sensors that can be integrated into a home automation system. A manufacturing process shows how to transform traditional equipment into smart products and systems (SPS) by leveraging cutting-edge Lean manufacturing techniques (Aheleroff et al., 2020). In a distributed world, System facilitates the transformation of data into intelligence, understanding, and knowledge and understanding (DIKW) for real-time observation, alerting, and condition monitoring at the product and service levels (Zheng et al., 2019). This report (Aheleroff et al., 2020) indicates on an industry-led case study on converting a conventional equipment into an intelligent and Internet - of - things utility in order to address the four research objectives listed below. • How can traditional household appliances be converted into smart devices? • How should continuous integration be addressed via a secure wireless connection? • How can consumers be empowered with real-time monitoring and control of electronic gadgets? • What innovations are necessary to make standard equipment smart?

The primary objective of Nakagawa et al. (2021) is to continuously evaluate Industry 4.0 reference designs and determine their appropriateness for enabling Industry 4.0 processes and solutions. We did this by conducting extensive

study on these designs and extensively analyzing and characterizing them. Researchers also discuss its application and the technology solutions that may aid in their execution (Nakagawa et al., 2021). Implementing Industry 4.0 principles in businesses/factories remains a significant issue. A complete absence of big achievement technologies and a shortage of deeper negotiated centralization that reference architectures would need have hampered such development, not only in large innovation manufacturing plants such as the automotive industry, as well as in small and medium-sized enterprises (SME), in which the biggest improvement respectively Industry 4.0 operating cost and its advantages is unidentified (Nakagawa et al., 2021). Industry 4.0 provides a platform for the manufacturing companies to allowing covered operations and increase the intelligence of its whole supply chain. Manufacturing technology, also known as the information technology of manufacturing, underlines the quantity produced, evaluation, making preparations, and rearrangement of good or service, operation, and access to resources using numerous different modern technologies to enhance design process, function visualization, and prototype industrial production. The objectives of the investigation contribute significantly to the field. Initially, researchers investigate why supply chain relationship investment may assist businesses in improving their business results using corporate green management in digital manufacturing, as driven by Industry 4.0. Furthermore, researchers broaden the methodological approach of environmental building partially covered supply chain relationship capital as more than just a driver. Lastly, researchers broaden the scope of connection capital to include supply chains, expanding the range of social capital scenarios that may be used. These finding provides practical advice for manufacturing businesses looking to increase economic rewards by optimizing existing supply chain relationships (Yu et al., 2021).

3.2. What does Industry 4.0 include?

Industry 4.0 is a broad description of a structure and relates to a tripod-like structure. Internet of Things, Internet of Services, and Cyber-Physical Systems are the foundations of the business. Devices will be able to interact with each other, evaluate data, and inform people when required in Industry 4.0, which is founded on the premise that systems are in contact with each other. Sensors will allow machines to connect wirelessly with each other. Meanwhile, the system will run at a lower cost, generate more quickly, and produce very little waste. Despite being smaller, these systems will deliver better results. Industry 4.0 is centered around robots. In addition to managing and evaluating machines and evaluating production data, these robots also make other production-related choices. Some authors refer to these manufacturing facilities as "dark factories" since they are lightless and unattended. Apart from that, 3D printers represent a new dimension in the Industrial Revolution 4. It will be possible to manufacture everything you need at home with a single touch, eliminating the need for huge corporations. When Industry 4.0 is currently functional, societal concerns would also develop. This must not be ignored. Joblessness might be the first phrase that comes to mind immediately. In addition to reshaping production and consumption, this approach would then create economic inequality throughout rich and poor nations. Industry 4.0 is expected to be completely implemented in 20 years or less (Chiarello et al., 2018; Vaidya et al., 2018; De Sousa Jabbour et al., 2018; Infineon, 2019).

The data collected by industries is expressed in huge dimensions today due to reasons such as the closure of small businesses in the retail sector, which is the most widely known area of marketing, the policies to increase the number of multinational stores, and the desire of consumers to meet their increasing needs from these retail chains. The fact that manufacturers establish relationships with retailers through their activities such as stock applications with smart systems and logistics solutions increases the size of the collected data much more. In order to compete with other businesses, businesses also act to serve their customers better. For this purpose, the retail sector, which moves, collects data with systems such as smart sensors and WIFI, as well as POS systems, and started to create their own systems by collecting this data in their own cloud systems. In addition, these companies can also obtain many more data such as comments on social media and consumer blogs, and data from visitors to the company's website. With this data they have accumulated, they keep their customers under constant surveillance and make useful inferences from this data and make various analyzes. It can be said that thanks to Industry 4.0, it is necessary to constantly monitor and analyze the attitudes and behaviors of the customers in order to reflect the instant data collected from the customers to the production processes as quickly as possible. Thanks to Industry 4.0, very large-scale data is collected by companies in the processes such as storage, logistics, in-store, marketing and sale of a product, starting from the design process, and even in the use of the customer. Although similar data are analyzed quickly by companies, they are transmitted to all departments in the business, especially production departments, and the company has the capacity to respond quickly to these requests and demands of the customer. According to a technology report published by Gartner, it is predicted that the use of data processing and analysis systems will increase in many areas with marketing in the next five years, and technologies such as data mining and artificial intelligence will be in the top five among the technological fields of activity (Duxbury, 2012; Lee, I and Lee, K., 2015; Gerbert et al., 2015; Morrarr et al., 2017; MAGG4, 2018; Douaioui et al., 2018; Chiarello et al., 2018; De Sousa Jabbour et al., 2018; Infineon, 2019).

4. Material and Method

4.1. Industry 4.0 and Its Current Applications

Industry 4.0 is defined as the industrial revolution 4.0, which will support from technological transformation in industrial processes and material science, cutting-edge modern communications, service-orientation of experience and understanding automated manufacturing industries, and developing methods of electronically meeting the needs of customers via technological advances of businesses and interactions (Roblek et al., 2016; Yao et al., 2017; Tiwari and Khan, 2020). Industry 4.0, a corporate strategic initiative, aims to create production facilities in which various technological innovations such as business intelligence, the internet - of - things, printing technology, artificial intelligence, computing, and intelligent machines are used to accomplish computer crimes structures (CPS) and opportunity to contact, resulting in economically, environmentally, and sustainable development manufacturing industries (Lasi et al., 2014; LeeI and Lee K., 2015; Schmidt et al., 2015; Bahrin et al., 2016; Kamble et al., 2018).

It is seen that many innovative technologies have emerged that paved the way for the Industry 4.0 revolution. These technologies, which were given under the headings in the previous parts of the study, are briefly explained below (Marr, 2017; Chiarello et al., 2018; Vaidya et al., 2018; Xu et al., 2018; Infineon, 2021).

(i) *Big Data and Analytics*: Collecting and comprehensive evaluation of data from many different sources (production equipment and systems, as well as business and customer management systems), standardizing it to support real-time decision making.

(ii) *Autonomous Robots*: Robots used to tackle complex tasks are in the future of industry, interacting with each other, working

4.2 Application of This Study

With Industry 4.0, the factory has started to benefit from all kinds of blessings of technology. A production-manufacturing line that does not require manpower, machines that communicate with each other without the need for human beings, a system that allows to start and stop production from outside the factory, error-free mass production, changes made on products with small software, data collection in a single center and instant elimination of errors. offered to businesses. In general, it consists of 3 structures; internet of things, internet of services, cyber-physical systems. It enables the monitoring of physical transactions with cyber-physical systems, real-time communication of people and cyber-physical systems with the Internet of Things, and the provision of internal and cross-services with the Internet of Services.

As a business growth strategy, it aims to make it more competitive in the field of production with industry 4.0. But how will it measure the firm's competitiveness? One of the most common ways to do this is by measuring efficiency. Efficiency measures how well resources are used. It is calculated as the ratio of output (goods and services) to inputs (labor and materials). As the company uses its resources more effectively with industry 4.0 technology, it will be more efficient.

When assessing efficiency and defining performance criteria, the enterprises must also consider their market competitive strategy. Efficiency of a company may be evaluated in units generated over time as a firm that competes on speed. A business competing on a cost basis, on the other hand, should

with and learning from humans in a more autonomous, flexible and collaborative manner. For example, Kuka, a European robot manufacturer, offers autonomous robots that interact with each other.

(iii) *Simulation*: In the engineering phase, 3D simulations of products, materials and manufacturing processes are already used, but real-time data is used to create a virtual model that can include the physical world, machines, products and people. Thus, the “digital twin” enables operators to test and optimize machine settings for the next product in the virtual world before the physical change, thereby reducing machine setup times and increasing quality (Marr, 2017; Chiarello et al.,2018; Vaidya et al., 2018; Xu et al., 2018; Infineon, 2021).

assess its efficiency in terms of input costs (such as labor, materials, overheads). It is critical that the efficiency measure informs us about how well we are performing in relation with competitive priority of the enterprise.

In this part of the research, application via Industry 4.0 technology of a business was evaluated on behalf of manufacturing performance and effectiveness of this manufacturing enterprise due to inputs and outputs components of manufacturing system for the analysis in terms of management, satisfaction, with the business expectation for a XYZ Enterprise located in Marmara Region in Turkey in white goods manufacturing sector. The manufacturing flow diagram was examined to support the development of the workflow for the manufacturing department of this white goods manufacturing enterprise-company

Because of Industry 4.0 technology, efficiency is primarily measured via performance. Innovation, work effectiveness, and productivity are long-term prerequisites for a company's continued operation. It may just be switched on if it produces a high level of production, dependability, and performance. Efficiency is generally the most essential indicator of performance in businesses since it directly demonstrates physical and monetary benefits. However, subjectively output factors do not appear in effectiveness. The objective is to improve effectiveness and lowering overall expenses. To evaluate this modification, output rates should be monitored. The performance evaluation ratios are used for this manufacturing enterprise using Industry 4.0 technology, as shown in Table 1.

Table 1. Productivity Analysis-The Results of Productivity of XYZ Manufacturing Enterprise

		2020	2021	2022	2023
Output	Sales Value of Products	160.000	255.000	480.000	580.000
	Input				
	Labor	58.000	85.000	175.000	205.000
	Raw material	12.000	10.000	25.000	37.700
		15.000	17.000	27.000	38.000
	Others	30.000	65.000	115.700	135.000

Table 2. Labor force, raw material and total Efficiency-Productivity Rates of XYZ Manufacturing Enterprise

	2020	2021	2022	2023
--	------	------	------	------

Labor Efficiency	160000/58.000=2,75	3,0000	2,7429	2,8293
Raw material Efficiency	160.000/12.000=13,333	8,5000	19,2000	15,3846
Total Efficiency	160000/115.000=1,391	1,4407	1,4006	1,3952

Labor force, raw material and total productivity- Efficiency rates between 2020 and 2023 are as above Table 2.

The formula (1) is calculated Labor force, raw material and total Efficiency-Productivity Rates based on the year 2020, the productivity change in 2023 as an index.

$$\text{Productivity Index} = \text{current period-year efficiency} / \text{base-year efficiency} \quad (1)$$

$$(1)$$

Table 3. Efficiency- Labor Productivity, Raw Material Productivity and Total Productivity Index

Labor Productivity Index	2,829/2,75= 1,028	2,8%	Increase Amount
Raw Material Productivity Index	15,384/13,333=1,153	15,3%	Increase Amount
Total Productivity Index	1,395/1,391=1,0028	0,28%	Increase Amount

Based on 2020, the labor productivity change in 2023 (see Table 3) increased by 2,8%. Based on 2020, the raw material productivity changes in 2023 increased by 15,3% rate. Based on 2020, the total productivity change index in 2023 increased by 0,28 %.

5. Results and Comments

Most major manufacturers currently recognize that cost is only one factor in determining efficiency. In fact, the use of costs as a gauge of efficiency is highly contested. This is due in part to the belief that expenses are inextricably linked to other activities such as productivity and quality. Manufacturing costs, in perspective, are not the only clearly connected aspect to customer wants. For decades, cost reductions have not resulted in simultaneous quality and delivery improvements, which have been nearly ubiquitous and, in some cases, the sole aim of production efficiency. As a result, it is necessary to obtain a proper and useful data set for a healthy analysis of job postings. The most important part here is the creation of a proper data set. Otherwise, no matter how good an analysis program is, it should not be expected to yield healthy results. When working with a proper data set, the frequency of terms among the most sought-after job postings and the affinities and connections between these job postings are extracted. Although it is not possible to reach a definite conclusion thanks to this type of analysis, it can be possible to make an inference about the direction in which the

job advertisements to be given in the future are showing, thanks to the current job postings. Data mining includes studies to extract meaningful information from this data set. With data mining analysis, business profiles can be clustered and information about trends can be obtained. The important point is to catch the relationship between words and phrases by using them. Thus, occupational groups are categorized. Today, following such innovations has gone beyond being a choice or preference and has become a necessity. The technology to be produced with these innovations appears in many fields from defense industry to food, from construction to health sector. Many new approaches are now in the middle of our lives, from the interfaces we use while shopping on the Internet or the big data that collects our footprints while surfing the Internet, to the innovative innovations in which robots operate in many areas. In addition, many startups today prefer to emerge through such innovative resources that are digitalized and combined with industry 4.0. At the same time, an enterprise, company and even public institutions should not stay away from such innovations. Because the innovative cycle is not a cycle that will ever stop. All products that will always continue and the new ones survive, while the old, not meeting the needs, taking more time to use, and not keeping the user satisfaction at the desired level, have to leave our daily life somehow because users no longer prefer these products (Lasi et al., 2014; Lee, I and Lee, K., 2015; Vaidya et al., 2018; Dalenogare et al., 2018; De Sousa Jabbour et al., 2018; views form authors, Infineon, 2019).

Industry 4.0 and innovation actually meet at many points. Today perhaps one without the other is very unlikely to exist. Unless a business that wants to market a product or service related to machine learning offers an innovative solution, the product it develops may not be demanded at the expected level in the market. All innovative products can also be produced with an innovative perspective. Many businesses had to move away from the physical environment and turned to digital. Today, big data, machine learning and artificial intelligence and many digital services have reminded us how much we actually need areas in epidemic situations. Therefore, people can use this industry 4.0 as an effective prevention technology against the big problems we face as a mass. Many of the developments that will occur as a result of Industry 4.0 will lead to a decrease in the demand for human labor. In this situation, it is important to develop an adequate innovation system that will allow new ideas for a manufacturing process owing to Industry 4.0 to come back to life without the need of humans (Chiarello et al., 2018; Vaidya et al., 2018; views from author; Infineon, 2019).

6. Conclusion

All kinds of decision-making processes of enterprises were directly affected by the developments related to Industry 4.0. At present time, while industry 5.0 has started to be talked about, all businesses have completed the adaptation process with industry 4.0 and have had to develop new business models that embrace technologies related to new innovative approaches. All these alternative technologies will be at the center of our lives with the perspective of industry 4.0 and innovation, and they will both change professions and end old needs and perhaps create new needs. As a society, researchers should follow the developments in this process individually and never stay away. Because while staying away from these technologies individually is a choice today, it may become a necessity even for these individuals tomorrow. Due to this influence, studies examining technologies on data and information management have gained importance humans (Chiarello et al., 2018; Dalenogare et al., 2018; Vaidya et al., 2018; views from author, Infineon, 2021). Thanks to the studies and literature researches, it has been observed that data mining techniques are used in subjects such as digital marketing, customer relations and the use of smart systems. With the increase in online shopping in recent times, studies on this subject have also increased. As a result, many data about customers can be collected thanks to wired and wireless smart systems, as is the case today, and this data is stored in the clouds. With these stored data, a lot of information is obtained about product presentation, aisle placement and shelf arrangement. In addition to the shopping data of the customers, social media shares regarding their internet browsing data and comments about the product service are also used as important data in this subject.

6. Acknowledge

I would like to thank the business officials, business employees and experts who helped me within the scope of the research by sharing their valuable information.

References

Douaioui, K., Fri, M., Mabrouk, C. and Semma, E. A. (2018). The Interaction between Industry 4.0 and Smart Logistics: Concepts and Perspectives. 11th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management LOGISTIQUA

Abele, E. and Reinhart, G. (2011). *Zukunft der Produktion*, Carl Hanser Verlag GMBH & München

Adolph, S., Tisch, M. and Metternich, J. (2014). Challenges and approaches to competency development for future production. *Educ. Altern.* 12, 1001–1010.

Aheleroff, S., Xua, X., Lua, Y., Aristizabalb, M., Velásquez, J.P., Joab, B. and Valenciab, Y. (2020). IoT-enabled smart appliances under industry 4.0: A case study, *Advanced Engineering Informatics*, 43, 101043.

Amaral, A., Jorge, D. and Peças, P. (2019). Small Medium Enterprises And Industry 4.0: Current Models' Ineptitude And The Proposal Of A Methodology To Successfully Implement Industry 4.0 In Small Medium Enterprises. *Procedia Manufacturing*, 41, 1103–1110. doi:10.1016/j.promfg.2019.10.039

Alborzi, M. and Khanbabaie, M. (2016). Using data mining and neural networks techniques to propose a new hybrid customer behaviour analysis and credit scoring model in banking services based on a developed RFM analysis method. *International Journal of Business Information Systems*, 23(1), 1-22.

Bahrin, M.A.K., Othman, M.F., Azli, N.H.N. and Talib, M.F. (2016). Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic, *Jurnal Teknologi*, 78, 6–13.

Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S. and Vocke, C. (2015). Transforming to a hyper-connected society and economy – towards an “Industry 4.0.”. *Procedia Manuf.* 3, 417–424. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.200>.

Bravi, L. and Murmura, F. (2021). Industry 4.0 enabling technologies as a tool for the development of a competitive strategy in Italian manufacturing companies, *Journal of Engineering and Technology Management*. April-June 2021, 60, DOI: 10.1016/j.jengtecman.2021.101629.

Bruhn, M. and Hadwich, K. (2017). *Dienstleistungen 4.0*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017.

Cedeño J.M.V., Papinniemi J., Hannola L., Donoghue I., 2018. Developing smart services by internet of things in manufacturing business. *LogForum* 14 (1), 59-71. <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2018.268>.

Culotta, A. and Cutler, J. (2016). Mining Brand Perceptions from Twitter Social Networks. *Marketing Science*, 35(3), 343-362.

Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A. and Fantoni, G. (2018). Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia. *Computers in Industry*, 100, 244–257. doi:10.1016/j.compind.2018.04.006.

Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. and Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2018.08.019.

De Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., and Godinho Filho, M. (2018). When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 18–25. doi:10.1016/j.techfore.2018.01.017.

- Based on Radar Spectrogram Data. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- Duxbury, T. (2012). Creativity: Linking Theory and Practice for Entrepreneurs. *Technology Innovation Management Review*, 2(8), 10-15.
- Dima, A. (2021). Kfactory Short history of manufacturing: from Industry 1.0 to Industry 4.0, <https://kfactory.eu/short-history-of-manufacturing-from-industry-1-0-to-industry-4-0/> (Access Date: 21.05.2021).
- Enyoghasi, C. and Badurdeen, F. (2021). Industry 4.0 for sustainable manufacturing: Opportunities at the product, process, and system levels, *Resources, Conservation and Recycling*, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105362.
- Ganzarain, J. and Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0, *J. Ind. Eng. Management*.
- Gartner Group (2017). Advanced Technology Research Note 2017, <https://www.gartner.com/technology/research/>, (Access Date: 12.04.2021).
- Gerbert, P., Lorenz, M., Russmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., and Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_product_s_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx, (Access Date: 12.04.2021).
- Ghazavi, E., and Lotfi, M. M. (2016). Formulation of customers' shopping path in shelf space planning: A simulation-optimization approach. *Expert Systems with Applications*, 55, 243–254. doi:10.1016/j.eswa.2016.01.043.
- Griva, A., Bardaki, C., Pramatarı, K. and Papakiriakopoulos, D. (2018). Retail business analytics: Customer visit segmentation using market basket data. *Expert Systems with Applications*, 100, 1–16. doi:10.1016/j.eswa.2018.01.029.
- Horváth, D. and Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119–132. doi:10.1016/j.techfore.2019.05.021.
- Holubčík, M., Koman, G. and Soviar, J. (2021). Industry 4.0 in Logistics Operations, *Transportation Research Procedia*. 53, 282-288, DOI: 10.1016/j.trpro.2021.02.040.
- Infineon. (2021). What you need to know about Big Data? <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/big-data-basics/> (Access Date: 20.03.2021).
- Innovation Cycle, <https://www.crf.org/crf/contact-us/68-skirball-innovation-center-2/1549-innovation-cycle>, (Access Date:21.05.2021).
- Innovation Management, How do you Define Innovation and Make it Practical and Saleable to Senior Management? <https://innovationmanagement.se/2008/01/07/how-do-you-define-innovation-and-make-it-practical-and-saleable-to-senior-management/> (Access Date: 14.06.2021).
- Inkermann, D., Schneider, D., Martin, N. L., Lembeck, H., Zhang, J., and Thiede, S. (2019). A framework to classify Industry 4.0 technologies across production and product development. *Procedia CIRP*, 84, 973–978. doi:10.1016/j.procir.2019.04.218
- Jin, X., Wah, B. W., Cheng, X. and Wang, Y. (2015). Significance and Challenges of Big Data Research. *Big Data Research*, 2(2), 59–64. doi:10.1016/j.bdr.2015.01.006.
- Kagerman, H. and Johannes, H. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0, Final Report, Industry 4.0 WG.
- Kamble, S. S., A. Gunasekaran, and S. A. Gawankar. (2018) Sustainable Industry 4.0 Framework: A Systematic Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408-425
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A. and Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107–119. doi:10.1016/j.compind.2018.06.004.
- Kaneko, Y. and Yada, K. (2016). Fractal Dimension of Shopping Path: Influence on Purchase Behavior in a Supermarket. *Procedia Computer Science*, 96, 1764–1771. doi:10.1016/j.procs.2016.08.225
- Karl, A.H. B. and Nadarajah, D. (2019). Investigating the Relationship between Industry 4.0 and Productivity: A Conceptual Framework for Malaysian Manufacturing Firms *Procedia Computer Science*, 161,696–706. doi:10.1016/j.procs.2019.11.173.
- Kurt, R. (2019). Industry 4.0 in Terms of Industrial Relations and Its Impacts on Labour Life. *Procedia Computer Science*, 158, 590–601. doi:10.1016/j.procs.2019.09.093.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T. and Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. doi:10.1007/s12599-014-0334-4.
- Lee, I. and Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. doi:10.1016/j.bushor.2015.03.008.
- Lichblau, K., Sicht, V., Bertenrth, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E. and Schroeter, M. (2015). IMPULS - Industrie 4.0 Readiness, 0–77.
- MAGG4. (2018). Endüstri 4.0 Demek, İnovasyon Demektir. Genç Nesil, Güncel İçerikler: <https://magg4.com/endustri-4-0-demek-inovasyon-demektir/>, (Access Date:22.04.2021)
- Marr, B. (2017). How BMW Uses Artificial Intelligence And Big Data To Design And Build Cars Of Tomorrow. *Forbes*: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/08/01/how-bmw-uses-artificial-intelligence-and-big-data-to-design-and-build-cars-of-tomorrow/#3e36a06d2b91>, (Access Date: 12.04.2021).
- Morrar, R., Arman, H. and Mousa, S. (2017). The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. *Technology, Innovation Management Review*, 7(11), 12-21.
- Nakagawa, E. Y., Antonino, P.O., Schnicke, F.; Capilla, R.; Kuhn, T. and Liggesmeyer, P.(2021). Industry 4.0 reference architectures: State of the art and future trends, *Computers & Industrial Engineering*. June 2021, 156, 107241, doi: 10.1016/j.cie.2021.10724.
- Niemeyer, C. L., Gehrke, I., Müller, K., Küsters, D. and Gries, T. (2020). Getting Small Medium Enterprises started on Industry 4.0 using retrofitting solutions. *Procedia Manufacturing*, 45, 208–214. doi:10.1016/j.promfg.2020.04.096.
- OECD. (2005). Oslo Kılavuzu: Yenilik Verilerinin Toplanması ve Yorumlanması İçin İlkeler, OECD. http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/kilavuzlar/Oslo_3_TR.pdf, (Access Date: 24.05.2021).
- Onu, P. and Mbohwa, C. (2019). Sustainable production: New thinking for SMEs, *Journal of Physics: Conference Series*, 1378, 022072, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022072>.

- Onu, P. and Mbohwa, C. (2019). Industrial energy conservation initiative and prospect for sustainable manufacturing, *Procedia Manufacturing*, 35 (2019) 546–551, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.077>.
- Proença, D. and Borbinha, J. (2016). Maturity Models for Information Systems - A State of the Art, *Procedia Computer Science*, 100(2), 1042–1049.
- Roblek, V., Mesko, M. and Krapez, A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open Journal*, 6 (2), 1-11 (Sage Publications).
- Rodrigues, F. and Ferreira, B. (2016). Product recommendation based on shared customer's behaviour. *Procedia Computer Science*, 100, 136-146.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R.C., Reichstein, C., Neumaier, P. and Jozinović, P. (2015). Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results, June, *International Conference on Business Information Systems*, Springer, Cham, 2015, 16–27
- Schumacher, A., Erol, S. and Sihm, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises, *Procedia CIRP*, 52, 161–166.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T. and Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0.* (Stuttgart).
- Tanaka, T., Hamaguchi, T., Saigo, T. and Tsuda, K. (2017). Classifying and Understanding Prospective Customers via Heterogeneity of Supermarket Stores. *Procedia Computer Science*, 112, 956-964.
- Telukdarie, A., Buhulaiga, E., Bag, S., Gupta, S. and Luo, Z. (2018). Industry 4.0 implementation for multinationals. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 316–329. doi:10.1016/j.psep.2018.06.030.
- Tiwari, K. and Khan, M. S. (2020). Sustainability Accounting and Reporting in the Industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 120783. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120783.
- The Cycle of Innovaton, <https://dok5.nl/en/the-cycle-of-innovation/> (Access Date:21.05.2021).
- Trappey, A. J. C., Trappey, C. V., Hareesh Govindarajan, U., Chuang, A. C. and Sun, J. J. (2017). A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 208–229. doi:10.1016/j.aei.2016.11.007.
- Vishal A. and Vinodh, S. (2021). Analysis of Industry 4.0 challenges using best worst method: A case study, *Computers & Industrial Engineering*. September 202, 159, doi: 10.1016/j.cie.2021, 1074- 1087.
- Vaidya, S., Ambad, P. and Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. doi:10.1016/j.promfg.2018.02.034.
- Vincent, O. R., Makinde, A. S., Salako, O. S. and Oluwafemi, O. D. (2018). A self-adaptive k-means classifier for business incentive in a fashion design environment. *Applied Computing and Informatics*, 14(1), 88-97.
- Vishal A. and Vinodh, S. (2021). Analysis of Industry 4.0 challenges using best worst method: A case study, *Computers & Industrial Engineering*. September 202, 159, DOI: 10.1016/j.cie.2021, 1074- 87,
- Vyas, K. (2018). How the First and Second Industrial Revolutions Changed Our World. *Interesting Engineering*: <https://interestingengineering.com/how-the-first-and-second-industrial-revolutions-changed-our-world>, (Access Date: 12.04.2021).
- What is Innovation?, <https://innolytics-innovation.com/what-is-innovation/> (Access Date: 13.05.2021).
- Weng, C. H. (2016). Identifying association rules of specific later-marketed products. *Applied Soft Computing*, 38, 518-529.
- Xu, L. D., Xu, E. L. and Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the Art and Future Trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. doi:10.1080/00207543.2018.1444806.
- Yao, X., Zhou, J., Zhang, J. and Boer, C.R. (2017). From intelligent manufacturing to smart manufacturing for industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on. In: *2017 5th International Conference on Enterprise Systems*, vols. 22-24. IEEE, Beijing, China. Sept. 2017.
- Yu, Y., Zhang, J. Z., Cao, Y., and Kazancoglu, Y. (2021). Intelligent transformation of the manufacturing industry for Industry 4.0: Seizing financial benefits from supply chain relationship capital through enterprise green management, *Technological Forecasting & Social Change*. November 2021, 172, doi:10.1016/j.techfore.2021.120999.
- Zheng, P., Chen, C.-H. and Shang, S. (2019). Towards an automatic engineering change management in smart product-service systems – A DSM-based learning approach. *Advanced Engineering Informatics*, 39, 203–213. doi:10.1016/j.aei.2019.01.002.



Computing Gauss-Bonnet Theorem of σ -Bezier Curves

Filiz Ertem Kaya^{1*}

^{1*} Nigde Omer Halisdemir University, Faculty of Science-Art, Department of Mathematics, Nigde, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1538-9154), fertem@ohu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996339)

ATIF/REFERENCE: Ertem Kaya, F. (2021). Computing Gauss-Bonnet Theorem of σ -Bezier Curves. *European Journal of Science and Technology*, (28), 241-245.

Abstract

The energy is one of the most important source for people and the other living things. We know that the energy of sun is the most energy source in universe. The sun is the source of the life. When the science and technology began to progressed, people found a lot of types of energy, but most of them are from the nature. For example energy of sun is naturel but energy of electric is produced by sun and using a lot of other nature sources (wind, water,...etc). The amount and capasity of the energy of the electric, water, wind,...etc. are calculated. For calculating energy we have to use mathematics and physics. Geometricians calculated the functions and energies of the curves by using Willmore and Horn' method lately. In this paper the Willmore function of the σ -Bezier curves in H^3 and Gauss-Bonnet theorem of the σ -Bezier curves are calculated by using Willmore method.

Keywords: Bezier curves, curvature, torsion, Gauss curvature, Mean Curvature, Willmore energy.

σ -Bezier Eğrilerinin Gauss-Bonnet Teoreminin Hesaplanması

Öz

Enerji, insanlar ve diğer canlı nesnelere için en önemli kaynaklardan biridir. Güneş enerjisinin kainattaki en önemli enerji kaynağı olduğunu biliyoruz. Güneş yaşamın kaynağıdır. Fen ve teknoloji gelişmeye başladığında, insanlar pek çok çeşit enerji buldular, ancak bunların pek çoğu doğadan olanlardı. Örneğin Güneş enerjisi doğaldır fakat elektrik enerjisi güneşten veya başka doğal kaynaklardan (rüzgar, su,...vb.) üretilmektedir. Elektrik enerjisi, su, rüzgar,...vb. kapasite miktarları hesaplanabilmektedir. Enerjiyi hesaplamak için matematik ve fizik kullanmak gereklidir. Son dönemlerde geometriciler eğrilerin Willmore ve Horn metoduyla fonksiyon ve enerjilerini hesaplamışlardır. Bu makalede σ -Bezier eğrilerinin H^3 te Willmore fonksiyonu ve Willmore metodu kullanılarak Gauss-Bonnet teoremi hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bezier eğrileri, eğrilik, torsiyon, Willmore enerji

* Corresponding Author: fertem@ohu.edu.tr

1. Introduction

In Differential Geometry Horn found the curve which passes through two specified points with specified orientation while minimizing

$$\varepsilon = \int \kappa^2 ds$$

where κ is the curvature and s the arc distance, has a number of interesting applications in 1983. He applied and introduced the energy with Differential Geometry at first. [Willmore,1965;Yan, 2011].

What makes the Bezier curves so popular and why we use bezier curves?

The mathematical Bezier curves as known Bernstein Polynommmial has studied since 1912 but discovered in 1960 by French engineer Pierre Bezier, especially use in automobile design.

The aim of this study is to observe the energy of the cubic σ -Bezier curves by Willmore method.

Now we repeat preliminaries on geometry of cubic σ -Bezier curves in E^3 .

2. Preliminaries

Bezier curve is known as a curve $Q(t)$ that called Berstein polynomials is given by:

$$Q(t) = \sum_{i=0}^l P_i^l(t) Q_i$$

where $P_i^l(t)$ is a basis function for Bezier curve Q_i refers to the control points of the curve and they constitute B-spline curve. The function of the $P_i^l(t)$ can be defined as the following:

$$P_i^l(t) = \frac{l!}{(l-1)!i!} (1-t)^{l-i} t^i, \quad i = 0,1,2,\dots, n$$

The curve can be expressed as any degree l with $l+1$ control points [Erkan and Yüce,2018-...- Hertrich-Jeromin, 2003 (all references)].

2.1. Serret-Frenet Elemets of Bezier Curves in E^3

Serret-Frenet elements of Bezier curves $\{T, N, B, \kappa, \tau\}$ are found firstly by Samanci [Samanci, 2015], after Erkan and Yüce [Erkan and Yüce, 2018] for Bezier curves as follows:

$$T(t) = \frac{m-2}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-1} B_{i,m-1}(t) \Delta b_i}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(t) B_{j,m-1}(t) \langle \Delta b_i, \Delta b_j \rangle\right)^{\frac{1}{2}}} \sin \alpha$$

$$N(t) = \frac{\sum_{i=0}^{m-1} B_{i,m-1}(t) J \Delta b_i}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(t) B_{j,m-1}(t) \langle \Delta b_i, \Delta b_j \rangle\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\kappa(t) = \frac{m-1}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} B_{i,m-2}(t) B_{j,m-1}(t) \langle \Delta^2 b_i, J \Delta b_j \rangle}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(t) B_{j,m-1}(t) \langle \Delta b_i, \Delta b_j \rangle\right)^{\frac{3}{2}}}$$

2.2. The Definition Cubic of σ -Bezier Curves in E^3

Definition 2.2.1. Let $\sigma \in [-1,1]$: for $s \in [0,1]$, the following polynomial functions [Hu, Ji, Qui and Zhang, 2015],

$$p_{0,2}(s; \sigma) = (1 - 2\sigma s - \sigma s^2)(1 - s^2)$$

$$p_{1,2}(s; \sigma) = 2s(1 - s)(1 + \sigma - \sigma s + \sigma s^2)$$

$$p_{2,2}(s; \sigma) = (1 - \sigma s - \sigma s^2)s^2$$

are called the extensions Berstein basis functions of degree 2 associated with the shape parameter σ [Hu, Ji, Qui and Zhang, 2015]; for any integer $m(m \geq 3)$, the functions

$p_{i,m}(s; \sigma) = (i = 0,1,2,\dots, m)$ defined as

$$p_{i,m}(s; \sigma) = (1 - s)p_{i,m-1}(s, \sigma) + sp_{i-1,m-1}(s, \sigma)$$

$$s \in [0,1]$$

These are extension Berstein basis functions of degree n [Hu, Ji, Qui and Zhang, 2015].

2.3. Construction of σ -Bezier Curves

Given control points $P_i (i = 0,1,\dots, r; r \geq 2)$ in R^2 or R^3 then,

$$p(s; \sigma) = \sum_{i=0}^m P_i b_{i,m}(s; m), \quad s \in [0,1], \quad \sigma \in [-1,1]$$

is called σ -Bezier curve of degree n with shape parameter, where basis functions $b_{i,m}(s; \sigma) = (i = 0,1,2,\dots, m; m \geq 2)$ in [Hu, Ji, Qui and Zhang, 2015] and [Yan and Liang, 2011].

In [Hu, Ji, Qui and Zhang, 2015] contained σ -Bezier curve of degree n with control points $P_0, P_1, \dots, P_m (m \geq 2)$ is

$$p_1(s; \sigma_1) = \sum_{i=0}^m P_i b_{i,m}(s; \sigma_1), \quad s \in [0,1]$$

$$p_2(s; \sigma_1) = \sum_{i=0}^{i-1} P_i b_{i,m}(s; \sigma_1) + \sum_{i=1}^k (P_i + \delta_i) b_{i,m}(s; \sigma_1)$$

$$+ \sum_{i=k+1}^m P_i b_{i,m}(s; \sigma_1)$$

$$p_3(s; \sigma_2) = \sum_{i=0}^{i-1} P_i b_{i,r}(s; \sigma_2) + \sum_{i=1}^k (P_i + \delta_i) b_{i,r}(s; \sigma_2) + \sum_{i=k+1}^m P_i b_{i,m}(s; \sigma_2)$$

and here $\delta_i = (\delta_i^x \delta_i^y \delta_i^z)^T \quad i = (l, l+1, \dots, m)$ are perturbations of control points $P_i (i = l, l+1, \dots, m)$ [Hu, Ji, Qui and Zhang, 2015].

2.4. Curvature κ and torsion τ of the σ -Bezier Curves

Let κ and τ denote principal curvatures of σ -Bezier curve are

$$\kappa(s, \sigma) = \frac{m-1}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J \Delta b_j(s, \sigma) \rangle}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta b_j(s, \sigma) \rangle \right)^{\frac{3}{2}}}$$

and

$$\tau(s, \sigma) = \frac{m-2}{m} \frac{\langle \Delta b_i(s, \sigma) \times \Delta^2 b_j(s, \sigma), \Delta^3 b_k(s, \sigma) \rangle}{\left\| \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta^2 b_j(s, \sigma) \rangle \right\|^2}$$

3. Computing the Energy of σ -Bezier Curves by Using Horn's method

Let calculate the energy of σ -Bezier curve by using Horn's Method [Horn, 2013]. So we take,

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int \kappa^2 ds \\ &= \int \left[\frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J \Delta b_j(s, \sigma) \rangle}{m \left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta b_j(s, \sigma) \rangle \right)^{\frac{3}{2}}} \right]^2 ds \\ &= \frac{(m-1)^2}{m} \int \frac{\left(\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J \Delta b_j(s, \sigma) \rangle \right)^2}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta b_j(s, \sigma) \rangle \right)^3} ds \end{aligned}$$

4. Mean and Gauss Curvatures of the Energy of σ -Bezier Curves

Let $H = \frac{\kappa + \tau}{2}$ and $K = \kappa * \tau$ denote the Mean and Gauss curvatures of σ -Bezier curves;

$$\begin{aligned} H &= \frac{\kappa + \tau}{2} \\ &= \frac{1}{2} \frac{m-1}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J \Delta b_j(s, \sigma) \rangle}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta b_j(s, \sigma) \rangle \right)^{\frac{3}{2}}} \\ &\quad + \frac{1}{2} \frac{m-2}{m} \frac{\langle \Delta b_i(s, \sigma) \times \Delta^2 b_j(s, \sigma), \Delta^3 b_k(s, \sigma) \rangle}{\left\| \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta^2 b_j(s, \sigma) \rangle \right\|^2} \end{aligned}$$

and Gauss curvature is;

$$K = \kappa * \tau$$

$$= \frac{(m-1)(m-2)}{m^2} \frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J\Delta b_j(s, \sigma) \rangle}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \right)^{\frac{3}{2}}} \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta b_j(s, \sigma) \rangle^{\frac{3}{2}}$$

$$* \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} \sum_{k=0}^{m-3} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) B_{k,m-3}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma) \times \Delta^2 b_j(s, \sigma), \Delta^3 b_k(s, \sigma) \rangle}{\left\| \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) \right\|^2 \left\| \sum_{i=0}^{m-1} \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta^2 b_j(s, \sigma) \rangle \right\|^2}$$

In above the operator * is multiplication operator.

5. Willmore Function on Curvatures of σ -Bezier Curves

Let $h : N^2 \rightarrow R^3$ be a compact surface immersed in R^3 [Willmore, 1959, Ertem Kaya, in press, Hertrich-Jeromin, 2003]. Let κ and τ denote principal curvatures of h , Mean curvature

$$H = \frac{\kappa + \tau}{2}$$

and Gauss curvature $K = \kappa * \tau$ of h [Willmore, 1959; Hsu, Husne, Sullivan, 1992; Ertem Kaya, in press; Hertrich-Jeromin, 2003].

In 1965 Willmore [Willmore, 1959, Willmore, 1965, Horn, 2013, Ertem Kaya, in press, Hertrich-Jeromin, 2003] proposed the study of the functional. So it can be written $\tau(h)$ by generated on σ -

where dA is the area form on $\tau(h)$ induced by the immersion

Bezier curve. We obtain,

$$\tau(h) = \frac{1}{2} \int_{N^2} \left(\frac{m-1}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J\Delta b_j(s, \sigma) \rangle}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \right)^{\frac{3}{2}}} \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta b_j(s, \sigma) \rangle^{\frac{3}{2}} \right. \\ \left. + \frac{m-2}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} \sum_{k=0}^{m-3} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) B_{k,m-3}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma) \times \Delta^2 b_j(s, \sigma), \Delta^3 b_k(s, \sigma) \rangle}{\left\| \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) \right\|^2 \left\| \sum_{i=0}^{m-1} \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta^2 b_j(s, \sigma) \rangle \right\|^2} \right) dA$$

Thus the Gauss-Bonnet Theorem states that,

$$\int_{N^2} \left(\frac{m-1}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J\Delta b_j(s, \sigma) \rangle}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \right)^{\frac{3}{2}}} \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta b_j(s, \sigma) \rangle^{\frac{3}{2}} \right. \\ \left. + \frac{m-2}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} \sum_{k=0}^{m-3} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) B_{k,m-3}(s, \sigma) \langle \Delta b_i(s, \sigma) \times \Delta^2 b_j(s, \sigma), \Delta^3 b_k(s, \sigma) \rangle}{\left\| \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) \right\|^2 \left\| \sum_{i=0}^{m-1} \langle \Delta b_i(s, \sigma), \Delta^2 b_j(s, \sigma) \rangle \right\|^2} \right) dA$$

Note that the operator * multiplication operator.

So this formulae is the Gauss-Bonnet theorem of σ -Bezier curve.

6. Results and Discussion

In this paper we see that computing Gauss-Bonnet theorem for σ -Bezier curves is connected to the curvatures and control points. If the control points' value change, then the value of the Gauss-Bonnet is change. So it is not invariant.

h [Willmore, 1959; Willmore 1965;Horn, 2013]. It is so-called Willmore functional of the σ -Bezier curves as follows;

$$W(h) = \frac{1}{2} \int_{N^2} H^2 dA$$

$$= \frac{1}{2} \int_{N^2} \left[\frac{1}{2} \frac{m-1}{m} \frac{\sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=0}^{m-1} \langle \Delta^2 b_i(s, \sigma), J \Delta b_j(s, \sigma) \rangle}{\left(\sum_{i,j=0}^{m-1} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-1}(s, \sigma) \right)^{\frac{3}{2}}} \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \frac{m-2}{m} \frac{\langle \Delta b_i(s, \sigma) \times \Delta^2 b_j(s, \sigma), \Delta^3 b_k(s, \sigma) \rangle}{\left\| \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-2} B_{i,m-1}(s, \sigma) B_{j,m-2}(s, \sigma) \right\|^2} \right] dA$$

7. Conclusions and Recommendations

In this work, the Willmore energy and Gauss-Bonnet theorem of the Bezier curves in E^3 or H^3 are computed.

8. Acknowledge

2020 Mathematics Subject Classification is: 53A04, 53A05.

References

Erkan, E., Yüce, S. (2018). Serret Frenet Frame and Curvatures of Bezier Curves. *E Mathematics*, 6(321), 2-20.

Hasan, Z. A., Yahya, Z. R., Rusdi, N. A. and Roslan, N. (2018). Curve Construction in Different Cubic Funtions using Differential Evolution. *Mucet 2017, MATEC Web of Conferences* 150, 06030.

Horn, B. K. P. (2013). The Curve of the Least Energy, ArtiÖcial Intelligence labaratory of the Masachusetts Institute of Tecnology, A. I. Memo No.612, March.

Hu, G., Ji, X., Qin, S. Zhang, Shape of the Modification for Bezier Curves Based on Constrained Optimization of position and tangent vector, *Mathematical Problems in Engineering*, 12 pages.

Hsu, L, Kusne, R. and Sullivan, J. (1992). Minimizing the Squared Mean Curvature Integral for Surfaces in Space forms, *Experimental Mathematics*, Vol. 1, No:3.

Roslan, N., Yahya, Z. R. (2015). Different Mutatition Strategies for Reconstruction of Japanese Character. Acceptance for Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology, (MUCET 2015) Johor Bharu, 11-13 October 2015.

Rusdi, N. A., Yahya, Z. R. (2015). Reconstruction of Arabic Font with Quartic Bezier Curve. *Sains Malaysiana* 44, 1209-1216.

Rusdi, N. A., Yahya, Z. R. (2014). Reconstruction of Generic Shape with Cubic Bezier least Square Method. *International Conference on Mathematics Engineering and Industrial Applications, ICOMIEA 2014*, AIP Publishing 1660, 0500004.

Rusdi, N. A., Yahya, Z. R. (2014). Reconstruction of Arabic Font using Artificial Bee Colony Algorithm, Acceptance for

Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology, (MUCET 2015).

Samanci, H. K., Çelik, S. and İncesu, M. (2015). The Bishop Frame of Bezier Curves. *Life Science Journal*, 12 (6).

Willmore, T. J. (1959). *Introduction to Differential Geometry*. Clarendon, Oxford, 128.

Willmore, T. J. (1965). Note on Embedded surfaces. *An. Sti. Univ. Al. I. Cusa Iasi, N. Ser. Sect. la Mat.11B*, 493-496. MR0202066 (34:1940).

Yan, L. L., Liang J. F. (2011). An Extension of the Bezier Model. *Applied mathematics and Computation*, Vol: 18, No:6, 2863-2879.

Ertem Kaya, F. In press. Willmore Function on Curvatures of the Curve-Surface Pair Under Möbius Transformation.

Hertrich-Jeromin, U. 2003. *Introduction to Möbius Differential Geometry*.



Security and Privacy Based NFC Wallet Design

Faruk Özkan¹, Ömer Aydın^{2*}

^{1*} Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Computer Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID:0000-0001-6665-2691), faruk.ozkan@ceng.deu.edu.tr, faruk.ozkan@onarfa.com

² Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7137-4881), omer.aydin@cbu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.995411)

ATIF/REFERENCE: Ozkan, F., Aydın, O. (2021). Security and Privacy Based NFC Wallet Design. *European Journal of Science and Technology*, (28), 246-250.

Abstract

With the Covid-19 pandemic, contactless and remote payment options have started to be used more widely. NFC technology is also used for contactless payment. In this study, it is aimed to create a payment system using NFC. The design of the payment system used a portable NFC, an Android phone with version 4.4 or higher, an NFC card, Firebase database from Google, and tokenization. We can define tokenization as generating a random string of text with your credit card number. First of all, the developed application must be downloaded and installed on the phone. With this application, the phone will act as a POS machine. Users can use the phone as a POS and make transactions using it. In this system, only a random text string will be visible in an unauthorized access to the database. In this way, security and confidentiality are provided in the system.

Keywords: NFC, Wallet, wireless connection, security, privacy.

Güvenlik ve Mahremiyet Tabanlı NFC Tasarımı

Öz

Covid-19 pandemisi ile birlikte temassız ve uzaktan ödeme seçenekleri daha yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. NFC teknolojisi de temassız ödeme için kullanılmaktadır. Bu çalışmada NFC kullanarak bir ödeme sistemi oluşturmak amaçlanmıştır. Ödeme sisteminin tasarımında taşınabilir bir NFC, 4.4 veya üzeri sürüme sahip bir Android telefon, NFC kartı, Google tarafından sunulan Firebase veritabanı ve simgeleştirme kullanılmıştır. Simgeleştirmeyi, kredi kartı numaranızla rastgele bir metin dizisi oluşturmak olarak tanımlayabiliriz. Öncelikle geliştirilen uygulamanın telefona indirilerek kurulması gerekmektedir. Bu uygulama ile telefon bir POS makinesi görevi görecektir. Kullanıcılar telefonu POS olarak kullanabilir ve bunu kullanarak işlem yapabilir. Bu sistemde, veritabanına izinsiz bir erişimde yalnızca rastgele bir metin dizisi görülebilecektir. Bu şekilde sistemde güvenlik ve gizlilik sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: NFC, Cüzdan, kablosuz bağlantı, güvenlik, gizlilik.

* Corresponding Author: omer.aydin@cbu.edu.tr

1. Introduction

NFC stands for “Near Field Communication”. NFC is a wireless communication style with a working distance of about 10 cm. It can operate in several modes. The modes are determined by whether the device creates its Radio Frequency(RF) field or retrieve it from generated by others. The ones which create the RF field is called active (like phones) and they have a power supply. The other ones which retrieve the RF field from others are called passive devices (like student cards) and usually, they don't have a power supply. When two devices will communicate one device must be active but the second device can be both [1]. The best thing about NFC's is the passive NFC devices can work without power. It makes NFC easier to use in many ways like payment, bus tickets, connecting Wi-Fi, transferring data easily, entering places that need identification etc. You can use it to connect your phone with a car's radio when you enter the car or use it to share data with your friends like a location, a photo etc. Also, you can use it to enter places that need personal identification just by showing your NFC card to the reader. NFC is a very good way, especially in payment. In city busses or ferries, you can easily pay and pass even without waiting. Also, you can use NFC in restaurants or markets, while paying you can easily just use your NFC card and pay quickly just like in busses. It has some advantages over the Bluetooth. NFC consumes less power because of passive NFC devices that do not need a power source. Also, it is way faster than Bluetooth. When two NFC devices come near 10 cm to each other the data transfer begins and this makes NFC more usable. On other hand, there are phone applications that use NFC technology to pay without needing your credit card. After saving your credit card to the application you can pay everywhere that uses the contactless payment option by using your phone. You don't need your credit card anymore to make payments. In some secure applications, they use encryption and store the data on servers. It is too hard to break into transactions as a middle man because the application uses the session key to encrypt the data of your credit card and that means the hackers only have one shot to solve encryption and that does not seem possible. In our application, after entering your credit card details, they will be stored in the cloud by tokenized. While paying, your application will generate a session key and sends it to the cloud to match the card details then sends it to the bank to do the money transaction. As you can see above NFC technology is very useful and easy to use. It is fast and it is secure enough to make transactions.

This study is about making an android application which can transfer money(data) with using the cloud system to other NFC device. In Google Pay [2], the first user adds a credit card to the application then google pay requests a token from the bank that the user adds its credit card. After that the application associates the card with a unique id and Google Pay encrypts the id, it becomes ready to use. While using an NFC reader, google pay sends the data of tokenized cards and a cryptogram. The network validates the cryptogram and matches the token with the real card number. In the end, acquiring bank and customer's bank solves the rest.

In the second section of this study, the studies carried out in the literature on this subject are given. In third section, the methods and materials used are presented. The proposed work is detailed in the fourth section. In last section, the conclusion and discussion are given. The goal in this study is making an

application, that the user can make payment without using a POS machine but only using the mobile phone, securely.

2. Related Works

This article that written by Michelle Fisher and Rathin Guha is about making NFC transactions safe. There are two different parts to the security of transactions. The first one is phone safety. Before making transactions you need to enter your pin or make biometric authentication. Biometric security is safe enough to use your mobile NFC app. (In Germany, researchers tried to pass biometric authentication. They took their hand's photo and printed their hands on normal hands then covered with wax. After 2.500 attempts they finally passed the biometric security.) In this article, the mobile NFC payment app has some payment limitations that can be set by the user like, how much you can pay with this app or which payment types is allowed (Payment, bills, Transactions etc.). In the end, it probably won't be worth to pass someone's authentication after stealing their phone so it makes the app safe enough to use mobile application The second part is a transaction, in this part the app stores the data of the user not in the mobile phone but in the cloud (except coupons, balance or payment history etc.). In the transaction, the app generates a session key and it is a one-time key. After decrypting it the banks do the rest. As a result, in this project, there seems a problem that safety or speed. Making an authentication for every payment you do can be annoying also the fingerprint authentication on our phones can't be able to work from time to time and if it can't you must enter your pin code to make every transaction, in the end, it becomes nothing different from the normal credit card. But on the other hand not making every payment secure, can cause problems like taking money from you without even noticing [3].

This article written by Kent Griffin and Carl B. Stone is about making connections between two active NFC devices. In the article, PayPal has been used as a trusted server. In the app, after entering PayPal details of yours there will be a selection of send also user can change his/her funding source. After selecting the “send money” option first tap with another device will be shown on the screen of your mobile phone and will show the receiver, amount etc. after the second tap money will be sent to the second device and there will be confirmed via vibration or audio. This makes “unfortunate” transactions a bit harder. Also at the beginning, after your PayPal entered to the app an SMS will be sent to the PayPal user's mobile phone to provide theft. After selecting the “send money” option there will be also passcode protection. In the article there are two different ways of communicate, the first way is between two mobile devices that making money transaction between two credit card or debit account and it is called “open loop”. The second is between a phone and a POS terminal and it is called “closed-loop”. While paying to the POS terminal one tap will be enough to pay. In the article, there is nothing about transaction encryption like while transferring data between two mobile devices or POS how the sent data will be protected. Also, a four-number pin code is easy to solve and at the beginning, there can be SMS protection, not SMS notification. After entering the card details an SMS can be sent to the card owner's phone to make sure that the user is himself/herself. So by doing this stolen credit cards can't be entered into the app and used easily [4].

This article is written by Mohammad Khan is about a merchant payment system. In the merchant store, the customer can see the menu via an NFC device. NFC device directs the app to the link which the poster has. Then the customer selects what

to order from the menu and selects the “submit order” button to finish ordering. After that customer enters cards details or selects the card that has already been submitted to the app. In this system, NFC is used while getting the menu, not used while paying. There are several things about the system. First, the customer must have a mobile connection or the merchant must have public Wi-Fi. But if we think that public Wi-Fi is not secure enough to make money transactions and the customer can't have a mobile connection the system can fail easily. Also if the phone is stolen by a thief the app can be used to pay without authentication. Furthermore, the merchant can't know who ordered the menu because for example there is a coffee shop which has 20 customers inside and 3 of them has ordered different 3 coffees at the same time. The owner can't know who ordered the coffee because the system is only for seeing the menu and a payment. The system can be changed to a table-oriented NFC payment system which you order from a tablet that is integrated into the table and after selecting the order you pay the bill with the NFC tap that both the tablet and the phone has. The tablet will also have information about the sender table [5].

This article is written by Darin William Smith, Rashid Skaf, James Pautler is about communications between devices. An active device waiting for connection from time to time like per 5 seconds it looks for a passive or an active device to connect. This article gives an example from a public network. When an active device gets a signal from another the device connects to the network and it can share videos, books etc. on the network. Actually, it uses NFC to connect to public Wi-Fi. Also with the NFC connection, the app can control the other stuff like home lights, windows etc. that can connect to public Wi-Fi. While connecting device gets a unique token for safety and uses encryption. For extra security and recognition while connecting user also enters unique information about himself like password, username or phone number. But this security system does not seem enough to prevent hackers [6].

This article is written by Jae Park, Karen Luk, Michael Connolly, Sogol Malekzadeh, John Skovron, Matthias Baer, Monica Gonzalez, Jonathan Aroner is about making easy contact with each other by using NFC devices. When two people want to know each other they just bump their phones and share the information only they want. The information they give each other goes to the server and the server tells what they have in common like food habits, the movies they like or the places they like to go and sends these common things each phone to make connections between people. There seems a little security issue that they sent their interest to the server without encrypting the information. We can't know how much will it affect their lives because the information what they send only information that they want [7].

This article is written by Kyoungmin Cho, Ayoung Hyung, Hyonmi Choi, Yunju Jeon is about an NFC payment app that can perform also without power. When you have to pay via NFC, the POS terminal sends a Bluetooth signal to check the battery of the phone. If it is enough to open the light application, the phone reboots. If that is not enough, there will be an IC card in the phone that holds the default card's information which you select as default. Whether the transaction fails or not the POS terminal sends a notification to the phone. There are also options about what to do while the power off in app like work with a light app always or work with an IC card [8]. This is for LG company.

This article is written by John Cronin and Seth Melvin Cronin is about storing NFC payments that we do. The payments store on

our phones. The GPS coordinates, time, amount and vendor information stores on our phones. Also, you can add a photo of what you buy. There is a map that shows what, when and where you buy things. In app there are settings about NFC payments like weekly maximum, disabling NFC payment at some stores or maximum one-time payment with NFC. Storing the information on our phone can cause security issues [9].

Security and privacy are both very important issues for payment and communication so payment systems have to be secure and provide privacy. For mobile phones, IoT and lightweight devices so many security mechanisms or challenges are created and investigated in the literature [10-20].

3. Materials

In this project, we need an android device whose version is must be later 4.4 KitKat. Also, we need a cloud system in order to process the transaction and an encryption system. We used some materials to propose our study. In this section, these materials will be given. Android Studio [21], NFC Compatible Phone, Amazon Web Services [22], Tokenization will be investigated in subtitles below.

3.1. Android Studio

Android Studio was announced by Google in the Google I/O event in 2013[23]. Android Studio is a program that you can build android apps for mobile phones. In Android Studio I will use Java coding language. Android Studio has an emulator to test every step of your coding in an emulated mobile phone and it is easy to use because it has a tool to design your app.

3.2. NFC Compatible Phone

To use the NFC Payment application, we need an NFC compatible version of android or IOS phones. If the phone is not compatible the payment app can't be used.

3.3. Amazon Web Services

Amazon Web Services will be used to store data in servers. The details of the card will be stored tokenized in servers of AWS. A free version of AWS will be used in this application.

3.4. Tokenization

Tokenization is a kind of encryption. The credit card details of the customer will be tokenized. The numbers will change and will store as tokenized in the server. Only the service provider will have the details and will hold them in a different and stronger server.

3. Proposed Work

First of all, there is always a probability to lose your phone. Google Pay needs an authentication but when your phone is in someone else's hands, there is always a way to pass those authentications. If you use public Wi-Fi connection while entering your card details, there can be an intruder who can take your card details from your phone but this is not a special problem for the pay applications. Public Wi-Fi connections are not secure. Simply attackers can hack the phone that uses the application and get access to information but again this is not special for the pay applications. Anyone can use the apps securely but the problem is

the phone's security. Because cracking the transactions are harder than getting access to the phone. Knowing this, we will focus only on transaction security in our work.

In the algorithm, the goal is to create an application that works as a POS machine but there are some security issues to prevent. In the beginning, we need to write the amount we are going to receive. After that, the user can simply show the card to the application and it is done. You can see an example of a simple transaction in Fig 1.

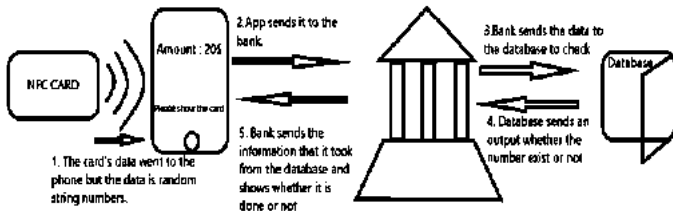


Figure 1. A simple transaction scenario

Here we can see that the application sends a tokenized string number to the issuer bank. Then the bank takes a response from the database whether the card exists or not and gives a response back depending on the database's record. The key in this algorithm is that we use tokenized strings to prevent hackers. Tokenization creates a random string that is going to act like a user's credit card number. The real card number is stored in the bank's database. There is an attack-type that tokenization prevents. The eavesdropping attack, in this type of attack, the attacker tries to take information while the transaction is happening. The attacker steals the card details then copies them. But with tokenization, the attacker has nothing because the only thing that the attacker will get is going to be random string numbers that is useless without the bank's approval. Here we can see an example of a transaction in Fig 2.

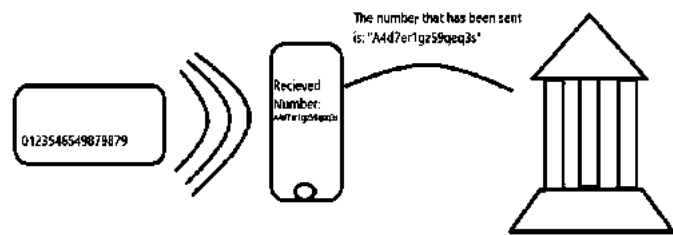


Figure 2. Example of a transaction

In the simulator, we have a database that acts like a bank's database. It stores the user credit card details and responses whether the tokenized number exists or not. After making a payment, the card's tokenized number changes so replay attacks can be prevented. Also if there is a middle man which tries to steal card details, he won't be able to because the number she/he gets is just a random string that is useless.

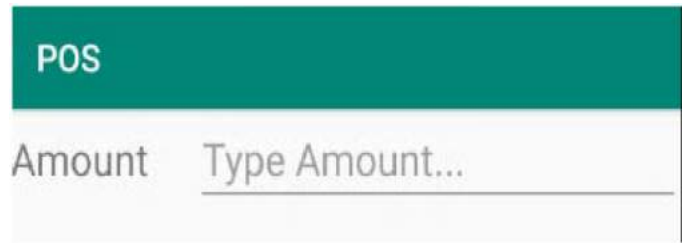


Figure 3. Screenshot of the amount

The POS payment screen on the mobile phone is designed as shown in Fig 3. The transaction is carried out by entering the amount of payment to be made in this field. At the same time, Fig 4 shows the operations of the last system by the NFC card side.

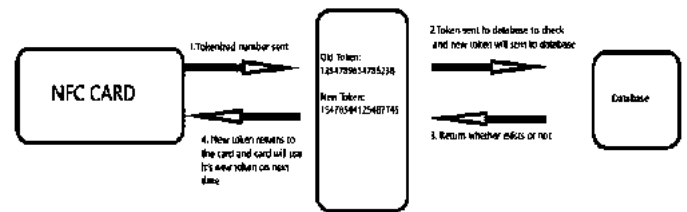


Figure 4. end system from card's side

After a payment, new token will be created and will be changed in the database also will be sent to the card. The card is going to use the new token to make payment. In this way, the payment process will be carried out securely.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, a payment system has been tried to be designed by considering the advantages of NFC. As is known, security in payment systems is of great importance. These are the dangers that attackers can capture, change or use payment information for different purposes. It is of great importance to design a system that will operate smoothly against these dangers. On the other hand, there are important advantages of using an NFC-enabled mobile phone for payment transactions. For this reason, in this study, it has been tried to perform a secure payment transaction through an application developed on a mobile phone. In future studies, the coding process of this application will be completed and different IOS and so on. can be made to work in different environments.

5. Acknowledge

We would like to thank Dokuz Eylül University Computer Engineering Department for their support.

References

- [1] Haselsteiner, E., & Breitfuß, K. (2006, July). Security in near field communication (NFC). In Workshop on RFID security (Vol. 517, No. 517, p. 517).
- [2] Michael, S. (2018). Google is combining Android Pay and Google Wallet under one brand: Google Pay. PCWorld. <https://www.pcworld.com/article/3246290/google-pay.html>
- [3] Fisher, M., & Guha, R. (2016). Mobile communication device near field communication (NFC) transactions. U.S. Patent

- No. 9,378,493. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [4] Griffin, K., & Stone, C. B. (2017). Two step near field communication transactions. U.S. Patent No. 9,558,485. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [5] Khan, M. (2017). Methods, systems, and computer readable media for facilitating in-store or near-store ordering and payment of goods and services through a single-tap of a near field communication (NFC) device. U.S. Patent No. 9,536,243. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [6] Smith, D. W., Skaf, R., & Pautler, J. (2017). Processing near field communications between active/passive devices and a control system. U.S. Patent No. 9,793,962. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [7] Park, J., Luk, K., Connolly, M., Malekzadeh, S., Skovron, J., Baer, M., ... & Aroner, J. (2016). Sharing of information common to two mobile device users over a near-field communication (NFC) link. U.S. Patent No. 9,264,104. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [8] Cho, K., Hyung, A., Choi, H., & Jeon, Y. (2017). Mobile terminal and method of performing NFC payment using the mobile terminal. U.S. Patent No. 9,697,515. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [9] Cronin, J., & Cronin, S. M. (2019). Securing nfc-based payment. U.S. Patent Application No. 16/271,677.
- [10]Çepik, H., Aydın, Ö., & Dalkılıç, G. (2021). Security Vulnerability Assessment of Google Home Connection with an Internet of Things Device. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 74, No. 1, p. 1).
- [11]Wang, Y., Hahn, C., & Sutrave, K. (2016, February). Mobile payment security, threats, and challenges. In *2016 second international conference on mobile and secure services (MobiSecServ)* (pp. 1-5). IEEE.4.
- [12]Cabuk, U. C., Aydın, Ö., & Dalkılıç, G. (2017). A random number generator for lightweight authentication protocols: xorshiftR+. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(6), 4818-4828.
- [13]Xiao, L., Wan, X., Lu, X., Zhang, Y., & Wu, D. (2018). IoT security techniques based on machine learning: How do IoT devices use AI to enhance security?. *IEEE Signal Processing Magazine*, 35(5), 41-49.
- [14]Liu, Z., Ma, J., Weng, J., Huang, F., Wu, Y., Wei, L., & Li, Y. (2021). LPTE: A lightweight privacy-preserving trust evaluation scheme for facilitating distributed data fusion in cooperative vehicular safety applications. *Information Fusion*, 73, 144-156.
- [15]Wang, Z., Lin, Y., Zhuo, Z., Gu, J., & Yang, T. (2021). GNFCVulFinder: NDEF Vulnerability Discovering for NFC-Enabled Smart Mobile Devices Based on Fuzzing. *Security and Communication Networks*, 2021.
- [16]Yakut, S., Şeker, Ö., Batur, E., & Dalkılıç, G. (2019, October). Blockchain platform for Internet of Things. In *2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)* (pp. 1-6). IEEE.
- [17]Li, S., Zhao, S., Min, G., Qi, L., & Liu, G. (2021). Lightweight privacy-preserving scheme using homomorphic encryption in industrial Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*.
- [18]Lu, H. J., & Liu, D. (2021). An improved NFC device authentication protocol. *Plos one*, 16(8), e0256367.
- [19]Aydın, Ö., Dalkılıç, G., & Kösemen, C. (2020). A novel grouping proof authentication protocol for lightweight devices: GPAPXR+. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 28(5), 3036-3051.
- [20]Vishwakarma, P. P., Tripathy, A. K., & Vemuru, S. (2021). Cryptanalysis of Near Field Communication Based Authentication Protocol for Mobile Payment System. *Wireless Personal Communications*, 1-21.
- [21]Hagos, T. (2018). Android studio. In *Learn Android Studio 3* (pp. 5-17). Apress, Berkeley, CA.
- [22]Cloud, A. E. C. (2011). Amazon web services. Retrieved November, 9(2011), 2011.
- [23]Huysman, M. (2013). Everything announced at the Google I/O 2013 keynote in one handy list. *TNW-The Financial Times*. <https://thenextweb.com/news/everything-announced-at-the-google-io-2013-keynote-in-one-handy-list>



Fonksiyonel Gıda Bileşenlerinin Tespit Edilmesinde Enstrümental Analiz Tekniklerinin Önemi

Pınar Ankaraligil^{1,2}, Buket Aydeniz-Güneşer^{2*}

¹ Uşak İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Gıda ve Yem Şubesi, Uşak, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6377-5303), pinar.ankaraligil@gmail.com

^{2*} Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2197-5504), buket.guneser@usak.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.995395)

ATIF/REFERENCE: Ankaraligil, P. & Aydeniz-Güneşer, B. (2021). Fonksiyonel Gıda Bileşenlerinin Tespit Edilmesinde Enstrümental Analiz Tekniklerinin Önemi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 251-258.

Öz

Fonksiyonel gıda terimi, vücudumuzun ihtiyaç duyduğu temel besin öğelerine ilave olarak tüketildiğinde bedensel ve zihinsel sağlığa olumlu etkilerinin olduğu bilimsel olarak kanıtlanan öğeleri de içeren gıdaları ifade etmektedir. Günümüzde, salgınların gide rek artması ve günlük diyetimizde tercih ettiğimiz besinlerin bütüncül sağlık durumunu etkilemesi nedeniyle, fonksiyonel bileşenleri içeren yenilebilir veya içilebilir tüm ürünlerin tüketimine olan talep artmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, fonksiyonel ürünlerin farklı yaştaki tüketiciler için uygun olmayabileceği ve bazı olası hastalıkların fonksiyonel bileşenler tarafından tetiklenebileceği de unutulmamalıdır.

Bu derleme çalışmasında, fonksiyonel gıda bileşenlerinin tespit edilmesinde kullanılan enstrümental analiz teknikleri üzerinde durulmuştur. Spektroskopi, kromatografi, kütle spektrometresi ve ayrıca kombine tekniklerin gıdalardaki fonksiyonel bileşenlerin tespitinde en çok kullanılan enstrümental analiz teknikleri olduğu sonucu varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel gıda, Enstrümental analiz, Spektroskopi, Kromatografi, Kütle spektrometresi.

The Importance of Instrumental Analysis Techniques in the Determination of Functional Food Components

Abstract

Functional food defined as foods contained that have been scientifically proven to their positive effects on physical and mental health, beyond adequate essential nutrients the our body needs. Nowadays, consumer demand for all edible or drinkable products containing functional ingredients continues to increase due to the increasig epidemics and the importance of a holistic health approach.

In addition, it should be kept in mind that all functional products may not be suitable for consumers of different age groups, and some possible diseases may be triggered by functional ingredients.

This review study focused on the instrumental analysis techniques used in identification of functional food components It was concluded that spectroscopy, chromatography, mass spectrometry and also combined/hybrid techniques are the most used instrumental analysis techniques in the detection of functional components in foods.

Keywords: Functional food, Instrumental analysis, Spectroscopy, Chromatography, Mass spectrometry.

* Sorumlu Yazar: buket.guneser@usak.edu.tr

1. Giriş

FFC (Functional Food Center – Fonksiyonel Gıda Merkezi) fonksiyonel gıdaları; toksik olmayan miktarlarda tüketildiğinde mevcut sağlık durumunun iyileştirilmesinde, kronik hastalık veya semptomların önlenmesinde veya tedavisinde etkili olduğu ve bir sağlık yararı sağladığı klinik olarak kanıtlanmış ve belgelenmiş, biyolojik aktif bileşikleri içeren doğal veya işlenmiş gıdalar” olarak tanımlamaktadır (FFC, 2020). Fonksiyonel gıda bileşenleri; kanser, diyabet, hipertansiyon ve kalp hastalıklarının önlenmesi ve ayrıca; osteoporoz, anormal bağırsak fonksiyonu ve artrit rahatsızlıklarının hafifletilmesi ile ilişkilendirilmektedir (Bruulsema, 2000). Sağlıkla ilgili tüketici endişelerinin giderek artması ve diyet-sağlık ilişkisinin çarpıcı bilimsel bulgularla ortaya koyulması nedeniyle fonksiyonel gıdalar büyük ilgi görmektedir (Siegrist ve ark., 2015; Hara ve ark., 2018).

Bununla birlikte; işlenmemiş bir gıdadaki bileşenlerin miktarını kontrol edebilmek gerek üretici gerekse tüketici için arzu edilen bir gereksinimdir. Meyve ve sebzelelerdeki fonksiyonel bileşenlerin içeriği; ürünün olgunluğuna, çeşidine ve üretim prosesine bağlıdır (Hara vd., 2018). Hayvansal gıdalarda ise bu bileşenlerin içeriği hayvanın beslenmesine, cinsiyetine ve yaşa bağlı olarak değişebilmektedir. Tüketiciler açısından gıda kalite ve güvenliğinin sağlanması için gıdalarda mevcut bileşenlerin, kalıntılarının ve kontaminantların saptanması gereklidir.

Gıda ürünleri; vitamin, şeker, protein, lipit, lif, aroma, renk pigmentleri, antioksidan, mineral ve diğer organik bileşikler olmak üzere çeşitli kompleks yapılardan oluşmaktadır (Otle ve Ozyurt, 2015). Gıda içindeki moleküler yapı ve moleküller arası etkileşimlerle yönetilen bu bileşenlerin fonksiyonel özellikleri ve mevcut miktarları gıda ürünlerinin özelliklerini oluşturur (Nawrocka ve Lamorska, 2013).

Hızlı sonuç vermeleri, kişisel hataların ortadan kaldırılmasına olanak sağlamaları ve analitik duyarlılıklarının yüksek olması gibi avantajlara sahip olan enstrümental analiz teknikleri, gıda formülasyonlarının karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılan ve özel yazılımlar tarafından kontrolü sağlanan, farklı çalışma prensiplerine sahip birçok ölçüm metodunu içermektedir. Bu tekniğin içerisinde; spektroskopik, kromatografik, termal ve elektrokimyasal analiz yöntemleri yer almaktadır. Kullanılacak en uygun enstrümental tekniğin belirlenmesi; analiz edilecek örneğin fiziko-kimyasal özelliklerine, analiz edilecek maddenin tespit limitine ve kromatografik çözünürlüğüne bağlı olarak değişebilmektedir (Deepak, 2015; Otle ve Ozyurt, 2015).

Bu çalışmada; fonksiyonel gıda bileşenlerinin tespit edilmesinde en çok kullanılan spektroskopik, kromatografik ve kütle spektrometresi teknikleri üzerinde durulmuştur.

2. Fonksiyonel Gıda Bileşenleri

Potansiyel yararlılığı bulunan fonksiyonel bileşenler, gıda formülasyonu içerisinde natürel olarak yer alabildiği gibi, tamamen dışarıdan ilave ya da mevcut bileşeni zenginleştirme yöntemleriyle de formülasyona eklenebilmektedir. Fonksiyonel bileşenler kategorisinin en yaygın bilinen üyeleri arasında karotenoidler, diyet lifi, yağ asitleri, flavonoidler, izotiyosiyanatlar, fenolik asitler, prebiyotikler, probiyotikler ve fitoöstrojenler yer almaktadır (Guiné ve ark., 2009).

Karotenoidler: Doğal fonksiyonel bileşenlerden biri olan karotenoidler sarıdan kırmızıya kadar değişen geniş bir renk aralığından sorumlu olan tetraterpenlerdir [Acton, 2013]. Havuç, ıspanak, brokoli, marul, bezelye, tere, domates, portakal, mandalina, mısır, kırmızı biber, kayısı, mango, papaya, kavun ve tatlı patates gibi gıdaların karakteristik renk ve fonksiyonel özelliklerinde, karotenoidlerin rolü baskın biçimde gözlenir (Southon ve Faulks, 2003).

Piyasada mevcut olan karotenoid bazlı besin takviyelerinin kemik sağlığını iyileştirme, yaşlanmayı geciktirme, sporcu beslenmesini destekleme (fiziksel dayanıklılığı artırma), görmeyi iyileştirme, kardiyovasküler ve gastrointestinal sistemleri korumaya yönelik kullanımları dikkat çekmektedir (Saini ve ark, 2020).

Diyet Lifi: Diyet lifi; selüloz, pektin ve lignin gibi nişasta olmayan polisakkaritler dahil olmak üzere yalnızca bitkilerde bulunan kompleks bir karbonhidrat (Samaan, 2017).

Yapılan çalışmalarda diyet lifinin antikanserojenik, antibakteriyel, antiinflamatuvar, anti-oksidatif ve anti-apoptotik özellikte olduğu; kolesterolü, trigliseridleri, sistolik kan basıncını, glisemi ve insülin duyarlılığını azalttığı görülmüştür. Diyet lifinin vücut ağırlığını ve diyabeti kontrol altına almaya yardımcı olduğu; ülser, reflü, irritabl bağırsak sendromu, divertikülit, kabızlık ve hemoroid gibi gastrointestinal hastalıkların önlenmesini sağlayabileceği düşünülmektedir (Ljubicic ve ark., 2017).

Esansiyel Yağ Asitleri: İnsan vücudunda sentezlenemediklerinden dolayı diyet yoluyla dışarıdan alınması gereken esansiyel yağ asitleri kolesterol dengesinin sağlanmasında kritik öneme sahiptir. Bu yağ asitleri; trans yağ ve kolesterolden farklı olarak HDL oranını artırırken, LDL oranını düşürerek klinik etki sergilemektedirler (Guiné ve ark., 2009).

Özellikle uzun zincirli omega-3 yağ asitlerinin antiinflamatuvar, hipolipidemik, antitrombik ve antiaritmik etkileri koroner kalp hastalığı ve romatoid artrit gibi kronik hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde uzun yıllardır kullanıldığı bilinmektedir (Lange 2020).

Flavonoidler: Flavonol, flavan-3-ol (proantosiyanidinler dahil), flavon, flavanon, antosiyanin ve izoflavon olmak üzere 6 farklı kategoriye kapsayan flavonoidler besin takviyesi olarak en yaygın kullanılan fonksiyonel bileşenlerden bir tanesidir. Flavonoidlerin anti-hiperglisemik, antikanser ve karaciğeri koruyucu etkilerinin kanıtlanması, besin takviyesi olarak kullanılmalarını teşvik eden başlıca pozitif unsurlardır. Ayrıca kan basıncını düzenlediği de bildirilmiştir (Quiñones ve ark., 2011; Zhu ve ark., 2020; Bondonno ve ark., 2020).

İzotiyosiyanatlar: Brokoli, karnabahar, lahanası, Brüksel lahanası ve diğer turpgillerde bulunan fitokimyasallardır (Guiné ve ark., 2009). Yapılan çalışmalarda izotiyosiyanatların anti-kanserojenik özellikte olduğu (Esfandiari ve ark., 2017), meme kanseri hücrelerinin çoğalmasını engellediği (Pawlik, 2017), akciğer kanseri büyümesini azalttığı (Tsai ve ark. 2019), kolorektal kanserinde antitümör etki gösterdiği bildirilmiştir (Gupta ve ark., 2019).

Fenolik Asitler: Genellikle yüksek antioksidan kapasitesine sahip olan doğal bitki özleri olarak bilinirler. Birçok fonksiyonel içeceğin formülasyonunda atletik performansı artırıcı, sindirimi hızlandırıcı vb. etkileriyle kullanılan fenolik asitlerin

kardiyovasküler ve diyabetik risk faktörlerinin tedavisinde başarıyla kullanıldığı bildirilmiştir (Das, 2019).

Prebiyotikler: ISAPP (The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics - Uluslararası Bilimsel Prebiyotik ve Prebiyotik Birliği) tarafından 2016'da gerçekleştirilen panelde prebiyotik tanımı "Konak mikroorganizma tarafından seçici olarak kullanılan, sağlığa faydalı substrat" olarak güncellenmiştir. Rapor edilen olumlu sağlık etkileri arasında bağışıklığı kuvvetlendirici, kan değerlerini düzenleyici, kemik ve zihinsel sağlığını destekleyici fonksiyonları dikkat çekicidir (Gibson ve ark., 2017). Bununla birlikte hindiba, pırasa, soğan, muz, enginar, sarımsak ve kuşkonmaz gibi meyve ve sebzelerin prebiyotik içermesine rağmen, bağırsak mikroflorasında önemli etki sergilemedikleri bildirilmiştir (Ashwini ve ark., 2019).

Probiyotikler: ISAPP (2013)'e göre probiyotikler "yeterli miktarlarda uygulandığında konakçıya sağlık yararı sağlayan mikroorganizmalar" olarak tanımlanmaktadır. İmmünolojik güçlendirme, LDL kolesterol düzeyini indirmeye, hücrelerde onarım mekanizmalarını uyarma ve dengelenmiş bağırsak ve solunum mikroflorasının oluşturulmasına katkı sağlama gibi regülatif yönleriyle öne çıkan probiyotikler, besin takviyeleri pazarında en büyük dilime sahiptir (Nair ve ark., 2017).

Fitoöstrojenler: Yapısal ve fonksiyonel olarak östrojen benzeri aktivite sergileyen fitoöstrojenler, başta soya fasulyesi olmak üzere, keten tohumu ve tam buğday tanesinde dikkate değer miktarda yer almaktadır. Özellikle prostat ve meme kanserinin engellenmesinde ve tedavisinde, osteoporoz–menopoz semptomlarının minimuma indirgenmesinde fitoöstrojenlerin biyolojik aktiviteleri öne çıkmaktadır (Sandhu ve ark., 2020; Yuan ve ark., 2019).

3. Fonksiyonel Gıda Bileşenlerinin Tespit Edilmesinde Kullanılan Enstrümental Analiz Teknikleri

Geleneksel kimyasal analiz yöntemleri; gıda bileşenleri tespiti için ön hazırlık işlemleri gerektirmesi sebebiyle yoğun emeğin harcandığı zaman alıcı işlemler basamaklarından oluşmaktadır (Lee ve ark., 2013). Modern analitik kimya ise; genellikle az miktarda örneğin yeterli olduğu ve farklı cihazların kullanıldığı kalitatif ve kantitatif karakterizasyon işlemidir. Kalitatif analizde mevcut bir veya birden fazla kimyasal türün tanımlaması yapılırken, kantitatif analizde mevcut kimyasal türün net miktarı belirlenmektedir.

Enstrümental yöntemler; spektroskopik, kromatografik elektroforetik, kütle spektrometresi ve hibrit teknikler olarak sınıflandırılmaktadır (Ottles ve Ozyurt, 2015).

3.1. Spektroskopik Yöntemler

Spektroskopik yöntemler, tarım ürünlerinde özellikle de gıdaların kalitesini değerlendirmede birçok ilke imza atmış başarılı tekniklerden birisidir. Bu yöntemler gıda bileşenlerinin analizi için oldukça caziptir. Çünkü genellikle minimum düzeyde numune hazırlığı gerektirir (bazen de hazırlık gerektirmez), hızlı ve çevrimiçi analiz sağlar ve tek bir numune üzerinde birden fazla test yürütme potansiyeline sahiptirler (Nawrocka ve Lamorska, 2013).

3.1.1. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi; çeşitli gıda bileşenlerinin ölçülmesinde kullanılan titreşimli bir spektroskopi yöntemidir. Çok yönlü uygulama alanına sahip olması ve yöntemin hızlı olması nedeniyle ilgi çekmektedir (Argyri ve ark., 2013; Lee ve ark., 2013).

Bu yöntem kullanılarak, domateslerde bulunan karotenoidlerin kantitatif analizinde uygun dalga boyunun belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Farklı dalga boylarında (532 nm, 785 nm ve 1064 nm) yapılan analizler neticesinde, 532 nm dalga boyunun kalitatif analizde kullanılabileceği; bu dalga boyuyla domateste likopen, β -karoten ve lutein vb. karotenoid bileşenlerin varlığının tespit edilebileceği, kantitatif analiz için de en uygun dalga boyunun 785 nm olduğu gözlenmiştir (Hara ve ark., 2018).

Raman spektroskopisi kullanılarak soya fasulyesinin ham protein ve yağ içeriklerinin saptanabildiği bir başka çalışmada bildirilmiştir (Lee ve ark., 2013).

3.1.2. Floresans Spektroskopisi

Floresans spektroskopisi, teknolojik süreç ve depolama sonrası gıda ürünlerinde meydana gelen değişiklikleri ve bunların gıda kalitesi üzerine etkilerini belirlemek için kullanılır. Bu yöntemde kimyasal reaktifler kullanılmadan gıdaların çeşitli özellikleri (fonksiyonel bileşen, kompozisyon, besin bileşeni gibi) belirlenebilir (Karoui ve Blecker, 2010).

Kırmızı ve beyaz et ve et ürünleri protein, çoklu doymamış yağ asitleri, vitaminler ve minerallerce zengin bir kompozisyona sahiptir. Ancak canlı dokuda ölüm sonrası gerçekleşen mikrobiyal artış, oksidasyon ve enzimatik otoliz sonucunda kırmızı ve beyaz etin depolama sırasındaki kalitesi hızla düşmektedir. Bu sebeple bu ürünlerin kalitesini korumak ve gıda güvenliğini sağlamak için hızlı analiz yöntemleri elzemdir.

Literatürün ayrıntılı olarak incelendiği bir çalışmada; balık ve diğer deniz ürünlerinin kalite ve özgünlük analizi uygulamalarında hızlı sonuç veren Floresans spektroskopisinin sıklıkla kullanıldığı, bu yöntemle lipid ve protein oksidasyonu sonucu oluşan değişikliklerin izlenerek kalitenin belirlendiği ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, çeşitli sığır kaslarının Floresans spektrumlarının okunması neticesinde kasların protein, yağ, kolajen ve kuru madde içeriklerine göre sınıflandırma yapılabildiği rapor edilmiştir. Floresans spektroskopisinin diğer spektroskopik yöntemlere kıyasla çok daha hassas ve hızlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Hassoun ve ark., 2019).

3.1.3. Ultraviyole Spektroskopisi

Absorpsiyon spektroskopik metodlardan olan UV spektroskopisinde 200-400 nm dalga boyları UV bölgesini oluşturmaktadır. Kullanılan UV ışınları moleküller tarafından absorplanmakta ve daha fazla enerji kazanan elektronlar sayesinde spektrum değerleri okunabilmektedir (Chiyaril vd., 2017).

Berkaş ve Çam (2020) iğde meyvesinde gerçekleştirdikleri bir çalışmada, meyvede mevcut toplam fenolik ve flavanoid miktarlarının belirlenmesinde spektrofotometreden yararlanmışlardır.

Meyve ve sebzelerdeki antosiyaninleri tanımlamak ve miktarlarını belirlemek için UV spektroskopisinin sıklıkla kullanıldığı ve genellikle 520-540 nm arasında değerlerinin

okunduğu bilgisi de literatürde yer almaktadır (Shipp ve Abdel-Aal, 2010).

Tablo 1. Enstrümental Analiz Tekniklerinin Gruplandırılması (Otlar ve Ozyurt, 2015)

Enstrümental Analiz Teknikleri			
Spektroskopisi	Kromatografi	Elektroforez	Kütle Spektrometresi ve Hibrit Teknikler
Absorpsiyon spektroskopisi (UV)	Gaz kromatografisi (GC)	Jel Elektroforez (GE)	Gas kromatografisi-Kütle spektrometresi (GC-MS)
Kızılötesi spektroskopisi (IR, NIR, MIR, FT-IR)	Sıvı kromatografisi (LC)	Kapılar elektroforez (CE)	Sıvı kromatografisi (LC-MS)
Atomik spektroskopisi (AS)	Süperkritik akışkan kromatografisi (SFC)		Ultra yüksek performanslı LC- Kütle spektrometresi (UHPLC-MS/MS)
Nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi	Kağıt kromatografisi		Tandem kütle spektrometresi (MS/MS)
X-Ray spektroskopisi	İnce tabaka kromatografisi (TLC)		Elektrosprey iyonizasyon-Kütle spektrometresi (ESI-MS)
			Atmosferik basınçlı kimyasal iyonizasyon (APCI)
			Atmosferik basınçlı fotoiyonizasyon (APPI-LC-MS)
			Matris destekli lazer desorpsiyon iyonizasyonu (MALDI)
			Desorpsiyon elektrosprey iyonizasyon (DESI)
			Desorpsiyon atmosferik basınçlı kimyasal iyonizasyon (DAPCI)
			Gerçek zamanlı direkt analiz (DART)

3.1.4. FTIR-ATR Spektroskopisi

Kimyasal analitik metodlarından biri olan ve Fourier dönüşüm yöntemi olarak da adlandırılan FTIR ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga boyu ölçülmektedir. Bu sistemde kullanılan dalga boyu aralıkları Tablo 2’de gösterildiği gibidir (Kılıç ve Karahan, 2010).

Tablo 2. Elektromanyetik Spektrum Kızıl Ötesi Bölgeleri (Kılıç ve Karahan, 2010)

Kızılötesi Bölge Türü	Dalga Boyu (cm ⁻¹)
Yakın (NIR)	4000-14000
Orta (MIR)	400-4000
Uzak (FIR)	4-400

FTIR-ATR yöntemi, gıda araştırmalarında kalitatif ve kantitatif analizler için kullanılmaktadır. Gıdalarda kalite, güvenilirlik ve izlenebilirliğin sağlanması için bileşiklerin hızlı değerlendirmesine olanak sağlar. Gıda sınıflandırması, ayırıştırma ve kimlik doğrulamasının yanı sıra kontaminantların ve taşıyıcının izlenmesindeki uygulamalar için kızılötesi spektroskopi skalası genişletilebilmektedir.

Bu yöntem ile et ve et ürünlerinde yağ asidi içeriğinin belirlenmesi çalışılmıştır. Doymuş yağ asitleri ile tekli ve çoklu doymamış yağ asitlerinin oranı saptanabilmektedir (Lucarini ve ark., 2018).

Yine aynı yöntemin kullanıldığı bir diğer çalışmada; sorgum ununun major kimyasal bileşenlerinin karakterize edilmesi amaçlanmıştır. FTIR-ATR yöntemi ile ürün içerisindeki temel bileşenin nişasta olduğu ve daha az miktarda protein, lipid ve fenolik asitler içerdiği tespit edilmiştir. Özellikle protein içeriklerini belirlemede hızlı ve hassas bir yöntem olduğu ortaya koyulmuştur (Lin ve ark., 2021).

3.2. Kromatografik Yöntemler

Kromatografi; bir numunedeki bir veya birkaç bileşenin ölçülmesinden ziyade genellikle seçici dedektörleri ile analitteki tüm bileşenleri ayırma, tespit etme, kimlik belirleme ve kantitatif olarak ifade etmede üstün avantajlar sağlayan tekniklerden bir tanesidir. Mikrodan makroya kadar değişen ölçüm aralıklarında gerçekleştirilen kantitatif analizlerde hassas, seçici ve çok yönlü tanımlama sağlanması nedeniyle laboratuvarlarda oldukça yaygın kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir (Wixom vd., 2011).

3.2.1. Gaz Kromatografisi

Gıda laboratuvarlarında kullanılan temel tekniklerden biri olan gaz kromatografisi (GC) ile birçok gıda bileşeni analiz edilebilmektedir. GC'nin bu kadar popüler olmasının nedeni; çok yüksek seçicilik ve çözünürlüğe sahip olması ile yüksek doğruluk ve hassasiyette sonuç vermesine dayanmaktadır (Feng vd., 2019).

Et ürünlerinde yağ asitleri tayininde genellikle iki fazlı metilasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada et ürünlerinde yağ asitleri analizi için tek aşamalı transmetilasyon ve hızlı GC yöntemi denenerek prosedür işlemi kolaylaştırılarak analiz süresi 1 saatten 10 dakikaya kadar indirilebilmiştir (Perez-Palacios ve ark., 2021).

Kore'de yenilebilir mantar ürünlerinin sterol ve yağ kompozisyonları tespiti için GC'den yararlanılmıştır (Saini ve ark., 2021).

Güney Afrika'da yetişen bazı yerli bitkilerin antioksidan kapasitesi, toplam flavonoid ve toplam fenolik içerikleri de GC kullanımıyla tespit edilebilmiştir (da Silva ve ark., 2019).

3.2.2. Sıvı Kromatografisi

Cortés-Herrera vd. (2018) yaptıkları bir derleme çalışmasında yem ve gıdalarda yaygın olarak bulunan majör bazı bileşenlerin tespit edilmesinde sıvı kromatografisi tekniğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada özellikle, örnek hazırlama ve kromatografik analiz işlemleri sırasında karşılaşılan ortak engellere ve farklılıklara odaklanılmıştır. Derleme kendi içinde üç kısma ayrılmıştır. İlk kısımda besin zincirinin başlangıcı olarak yem analizlerine yer verilmiş, ikinci kısımda gıda zincirinin sonu olarak tüketime sunulacak üründe analizlere değinilmiş ve son kısımda ise laboratuvarında gerçekleştirilen analiz sonuçları

derlenmiştir. Çalışma neticesinde polifenoller, kapsaisinoidler, karotenoidler, teobromin, kafein, kolesterol, amino asit, karbonhidrat, şeker, organik asit, suda ve yağda çözünen vitaminlerin sıvı kromatografisiyle detaylı olarak analiz edilebildiği, tekniğin yem ve gıda analizlerinde güçlü ve çok yönlü olduğu fakat analiz öncesinde numunede detaylı ve titiz ekstraksiyon / saflaştırma basamaklarına ihtiyaç duyulabildiği bildirilmiştir.

3.2.3. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography-HPLC)

Karadeniz bölgesinde üretilen Ormangülü balında mevcut 17 adet fenolik bileşenin kalitatif ve kantitatif analizleri RP-HPLC-DAD (ters fazlı ve diot taramalı dedektörlü yüksek performanslı sıvı kromatografisi) kullanılarak yapılmıştır (Şahin ve ark., 2017).

Acı biberlerin (Jalapeño, Scotch Bonnet ve Bhut Jolokia) sulu ekstraktlarında bulunan fonksiyonel bileşenlerin tespiti için yapılan bir diğer çalışmada ise, acı biberlerde kapsaisinoid dışında suda çözünür keskin olmayan fonksiyonel bileşenlerin izolasyonu ve karakterizasyonu HPLC ile sağlanmıştır (Liu ve Nair, 2010).

Kudret narı meyvesinde (*Momordica charantia*) bulunan charantin, stigmasterol glukozit (STG) ve β -sitosterol glukozit (BSG) adlı iki bileşenin karışımından oluşan steroidal bir saponindir ve insüline karşı anti-diyabetik etki sergilediği bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada; kurutulmuş kudret narı meyvesinde charantin bileşenlerinin (STG ve BSG) kalitatif ve kantitatif olarak tespit edilmesi için kromatografik teknikler kullanılmıştır. Ters fazlı HPLC-DAD yönteminin charantin bileşenlerinin varlığının ortaya koyulmasında ve bireysel olarak belirlenmesinde hassas ve başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Desai ve ark., 2021).

Fruktus amomi meyvesiyle yapılan bir çalışmada ise; meyvede bulunan östrojen-aktif bileşiklerin analizi ve belirlenmesi için yüksek hızlı ters akım kromatografisi (High Speed Countercurrent Chromatography-HSCCC) ve HPLC kombinasyonu oluşturulmuştur. Meyvede bulunan östrojen-aktif bileşenlerden Amomum longiligulare tohumlarının ayrımı HSCCC ile gerçekleştirildiğinde, HPLC'ye kıyasla daha fazla randıman alındığı görülmüştür. Sonuçlara göre meyvenin 3 gram etanolik ekstraktından 8-138 miligram miktarda ve % 94.3 – 99.8 saflıkta 17 farklı bileşik elde edilmiştir. Bileşiklerin kimyasal yapıları ESI-MS ve NMR spektrumları ile belirlenmiş olup sekiz adet östrojen-aktif bileşen olduğu görülmüştür. Meyvenin, östrojen aktivitesine sahip diarilheptanoidler bakımından zengin bir besin kaynağı olduğu, biyoaktif bileşenlerin analizi için HSCCC ve HPLC kombinasyonunun uygulanabilir olduğu bildirilmiştir (Ying ve ark., 2014).

3.2.4. Yüksek Performanslı İnce Tabaka Kromatografisi (High Performance Thin-Layer Chromatography-HPTLC)

Bitki özleri gibi oldukça karmaşık numunelerin taranması için sıklıkla kullanılan yüksek verimli ve güvenilir bir ayırma tekniği olarak tasarlanmıştır. Tek bir kromatografik plakanın birçok numunede benzerliğin daha iyi tanınmasını sağlamak için aynı laboratuvar koşullarında paralel çalışma kapasitesi bulunmaktadır. Ayrıca; enzim uygulamalarından önce kolaylıkla çıkarılabilen mobil faz ile enzimatik biyoanalizlerle uyumlu olup böylelikle etkinliklerini artırabilmektedir. Numune hazırlığı yapılmadan ya da minimal düzeyde yapılan hazırlık işlemi sonrası

ekstraktlar doğrudan plakaya uygulanabilmektedir. Böylece; numune bileşenlerinin çoğu mümkün olduğunca korunmaktadır (Agatonovic-Kustrin ve ark., 2020).

3.3. Kütle Spektrometresi

Kütle spektrometresine dayanan analiz yöntemleri kalitatif ve kantitatif metodların her ikisinde de sonuç vermektedir. Kütle spektrometresinin (Mass spectrometry-MS) kullanımıyla moleküler ağırlık saptanması sonucu hızla ve güvenli bir şekilde analizler gerçekleştirilebilmektedir.

Moleküler ağırlık belirlendikten sonra kromatografik teknik veya güvenilir başka bir yöntem ile birlikte kullanıldığında hedeflenen bileşiklerin tanımlanması sağlanmaktadır. Örneklerin spesifik özelliklerinin tespit edilmesinde farklı MS çeşitleri kullanılabilir ve ayrıca; daha fazla seçicilik ve yüksek çözünürlük özellikleri olması nedeni ile bileşen miktarı da hesaplanabilmektedir (Lee, 2012).

3.3.1. Yüksek Çözünürlüklü Kütle Spektrometresi (High-Resolution Mass Spectrometry-HRMS)

Yüksek çözünürlüklü kütle spektrometresi (HRMS), bileşenlerin molekül kütlesi, temel kompozisyonu ve ayrıntılı moleküler yapısı ile ilgili olarak daha kapsamlı bilgi sağlama konusundaki üstün yetenekleri nedeniyle dikkat çekmektedir. HRMS'nin klasik bir MS'e göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bu yöntem; izobarik bileşiklerin tanımlanması, daha az ön hazırlık işlemi gerektirmesi nedeniyle hızlı bir teknik olması, tek bir işlemle hedeflenmemiş analizler de dahil birçok bileşenin saptanabilmesi, tarama spektrumların sonraki aşamalar için saklanabilmesi ve kullanılabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir (Lucci ve ark, 2017).

3.4. Kombine Sistemler

Enstrümental analizlerde farklı cihazların kombine edilerek bir arada kullanılması mümkündür. *Lactobacillus plantarum* ATCC14917 ile fermente edilen elma suyunda antioksidan kapasite değişimi izlenmiştir. Fermente elma suyunun bileşimi LC-MS/MS (Sıvı Kromatografi-Kütle Spektrometresi/Kütle Spektrometresi) kombine sistemiyle karakterize edilmiştir. Fermantasyon sonrası toplam fenolik ve flavonoid içeriğinin düştüğü, antioksidan kapasitesinin önemli bir oranda arttığı, serbest radikallerin etkisiz hale dönüştürüldüğü gözlenmiştir. Laktik asit bakterilerinin elma fermantasyonunda kullanılabilmesi, mevcut polifenollerin biyoyararlanımını artırılabilmesi ve bu elma suyunun serbest radikallerin neden olduğu hastalıkların önlenmesinde fonksiyonel bir gıda olarak tüketilebileceği de bildirilmiştir (Li vd., 2018).

Tropikal ve kurak iklimlerde yetişen Moringa türleri; besleyici, tıbbi ve endüstriyel faydaları olan çok amaçlı bitkilerdir. Makita vd. (2016) Moringa oleifera ve Moringa ovalifolia'nın flavonoid içeriklerini ultra yüksek performanslı sıvı kromatografisi (UHPLC) ve quadrapol uçuş zamanlı kütle spektrometresi (qTOF-MS) tekniklerini kombine ederek analiz etmişlerdir. Sonuçlara göre; iki türün aralarında en az 17 farklı flavonoid bileşiği içerdiği görülmüş olup, içerikleri hakkında detaylı bir inceleme yapılmadığı bildirilmiştir.

Çin'de ticari kırmızı şarapların kalitesini belirlemek için Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi ve elektrosprey iyonizasyon kütle spektrometresi (ESI-MS) yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Analiz edilen şaraplarda 18 adedi antioksidan olmak üzere toplamda 25 bileşen tanımlanmış ve

değerlendirilmiştir. Örneklerde bulunan baskın ve karakteristik antioksidanlar belirlenmiştir. Sonuçlara göre ekili üzüm çeşidi, üretim alanı, mahzen dönemi gibi faktörlerin antioksidan etki gücüne etkileri tartışılmıştır. Araştırmacılar bu yöntemle kırmızı şarabın kimyasal özelliklerinin ve antioksidan gücünün ilk defa analiz edildiğini ve değerlendirildiğini, yöntemin yüksek antioksidan içeriğini sahip ürünlerde karakterizasyon işlemi için kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir (Yu ve ark., 2014).

Anti-spazmodik, diüretik, antiseptik, yatıştırıcı, analjezik, boğaz ağrısını hafifletici ve bağırsak parazitleri elimine edici pozitif sağlık etkileriyle bilinen altın çilek (*Physalis peruviana* L.) meyvesinin işlenmesi sırasında oluşan atıkların, fenolik asit, flavonoid, terpenoid, fitosterol ve fitol türevlerince (E vitamini) zengin olduğunu ortaya koymak amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda, meyve atıklarının kapsamlı karakterizasyonu için elektrosprey iyonizasyon kütle spektrometresi (ESI) ile UPLC-ESI-q-TOF-MS / MS yöntemi kombine edilerek kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise; yan ürün ekstraktından biyoaktif bileşiklerin tanımlanması gerçekleştirilmiş; fenolik bileşikler çoğunlukta olmak üzere, çeşitli biyolojik aktivitelere sahip birkaç vitanolid (C28-izoprenoidler) ve toplam 56 fitokimyasal sükroz esterleri tanımlanmıştır. İzobarik vitanolit tip bileşenler de iyon spektrumları tarafından ESI(+) ve ESI(-) modlarında MS/MS kullanılarak sınıflandırılmıştır. ESI(-) modunda vitanolitlerin yapısal analizine MS/MS katkı sağlamıştır. (GC-qTOF-MS) tekniği de altın çilekte var olan fitosteroller ve tokoferollerin karakterize edilmesinde özgün sonuçlar ortaya koymuştur (Ballesteros-Vivas, 2019).

4. Sonuç

Gıda ürünlerinin tarladan soframıza uzanan yolculuğundaki süreçte ürünlerde bir takım değişiklikler yaşanabilmektedir. Çünkü; gıda ürünü çeşitli grupların bir araya gelmesiyle oluşan (protein, karbonhidrat, yağ, vitamin, mineral gibi) oldukça kompleks bir yapı olup beraberinde kontaminantlar ve kalıntılar da barındırabilmektedir. Ürün grubu, ekili olduğu alan, tarlada yapılan ilaçlamalar, hasat işlemleri, fabrikada uygulanan üretim prosesleri, depolama gibi aşamalardan geçen gıdaların bileşiminde meydana gelebilecek değişimler kaçınılmazdır. Hayvansal gıdalarda da; hayvanın yetiştiği coğrafya, yaşı, cinsi, beslenmesinde kullanılan yem de sahip olduğu özelliklerini etkilemektedir. Ayrıca; evlerimizde besinlere uygulanan son tüketim öncesi ön hazırlık işlemleri (muhafaza, yıkama, pişirme gibi) de yine gıdaların mevcut olduğu özelliklerde değişimlere yol açabilmektedir. Yapılan literatür taraması sonucu; enstrümental analiz tekniklerinin fonksiyonel gıda bileşenlerinin hızlı ve hassas biçimde tespit edilmesinde, başarıyla ve güvenle kullanılabilirdiği görülmüştür.

Biyoaktif bileşen içeren gıdaların sunmuş olduğu sağlık yararlarına ek olarak, toksisite testlerinin de yapılmasına ve olası risklerinin ortaya koyulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Her bir fonksiyonel bileşenin ayrı ayrı toksisite testlerine tabi tutulmasında ve diğer gıda bileşenleriyle etkileşimlerinin irdelenmesinde, kombine enstrümental analiz tekniklerinin özgün ve dikkat çekici sonuçlar ortaya koyacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

Acton, Q. A. Ed., (2013). *Silicones-Advances in Research and Application*, Atlanta: Scholarly Editions.

- Agatonovic-Kustrin, S., Doyle, E., Gegechkori, V. & Morton, D. W. (2020). High-performance thin-layer chromatography linked with (bio) assays and FTIR-ATR spectroscopy as a method for discovery and quantification of bioactive components in native Australian plants. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 184(2), 113208, doi: 10.1016/j.jpba.2020.113208.
- Argyri, A. A., Jarvis, R. M., Wedge, D., Xu, Y., Panagou, E. Z., Goodacre, R. & Nychas, G. J. E. (2013). A comparison of Raman and FT-IR spectroscopy for the prediction of meat spoilage. *Food Control*, 29(2), 461-470, doi: 10.1016/j.foodcont.2012.05.040.
- Ashwini, A., Ramya, H. N., Ramkumar, C., Reddy, K. R., Kulvarni, R. V., Abinaya, V., Naveen, S. & Raghun, A. V. (2019). Reactive mechanism and the applications of bioactive prebiotics for human health: Review. *J. Microbiol. Meth.*, 159, 128-137, doi: 10.1016/j.mimet.2019.02.019.
- Ballesteros-Vivas, D., Álvarez-Rivera, G., Ibáñez, E., Parada-Alfonso, F. & Cifuentes, A. (2019). A multi-analytical platform based on pressurized-liquid extraction, in vitro assays and liquid chromatography/gas chromatography coupled to high resolution mass spectrometry for food by-products valorisation. Part 2: Characterization of bioactive compounds from goldenberry (*Physalis peruviana* L.) calyx extracts using hyphenated techniques. *J. Chromatogr. A*, 1584, 144-154, doi: 10.1016/j.chroma.2018.11.054.
- Berktaş, S. & Çam, M. (2020). İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.) meyve ve yapraklarının antioksidan ve antidiyabetik özellikleri. *Akademik Gıda*, 18(3), 270-278, doi: 10.24323/akademik-gida.818125.
- Bondonno, N. P., Lewis, J. R., Blekkenhorst, L. C., Bondonno, C. P., Shin, J. H. C., Croft, K. D., Woodman, R. J., Wong, G., Lim, W. H., Gopinath, B., Flood, V. M., Russell, J., Mitchell, P. & Hodgson, J. M. (2020). Association of flavonoids and flavonoid-rich foods with all-cause mortality: The Blue Mountains Eye Study. *Clin. Nutr.*, 39(1), 141-150, doi: 10.1016/j.clnu.2019.01.004.
- Bruulsema, T.W. (2020). *Functional Food Components: A Role for Mineral Nutrients?*, 21.12.2020 tarihinde Better Crops sitesi [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/00D32CD0F2B5528F852579800081FD1B/\\$FILE/Better%20Crops%202000-2%20p04.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/00D32CD0F2B5528F852579800081FD1B/$FILE/Better%20Crops%202000-2%20p04.pdf) adresinden alındı.
- Chirayil, C. J., Abraham, J., Mishra, R. K., George, S. C. & Thomas, S. (2017). Chapter 1 - Instrumental Techniques For The Characterization of Nanoparticles, In S. Thomas, R. Thomas, A. K. Zachariah & R. Mishra (Eds.), *Thermal and Rheological Measurement Techniques for Nanomaterials Characterization* (pp. 1-36), Elsevier, doi: 10.1016/B978-0-323-46139-9.00001-3.
- Cortés-Herrera, C., Artavia, G., Leiva, A. & Granados-Chinchilla, F. (2018). Liquid chromatography analysis of common nutritional components, in feed and food. *Foods*, 8(1), 1, doi: 10.3390/foods8010001.
- Das, A. B., Goud, V. V. & Das, C. (2019). Phenolic Compounds of Functional Ingredients in Beverages. Value-Added Ingredients and Enrichments of Beverages, In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), ser. *The Science of Beverages* vol. 14 (pp. 285-323), Woodhead Publishing.
- Deepak (2015). *What are the benefits offered by Modern Analytical Instrumental methods over non-instrumental methods?*, 21.12.2020 tarihinde lab-training.com sitesi <https://lab-training.com/2015/03/10/what-are-the-benefits-offered-by-modern-analytical-instrumental-methods-over-non-instrumental-methods/> adresinden alındı.
- Desai, S., Tatke, P., Mane, T. & Gabhe, S. (2021). Isolation, characterization and quantitative HPLC-DAD analysis of components of charantin from fruits of *Momordica charantia*. *Food Chem.*, 345, 128717, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128717.
- Esfandiari, A., Saei, A., McKenzie, M. J., Matich, A. J., Babalar, M. & Hunter, D. A. (2017). Preferentially enhancing anti-cancer isothiocyanates over glucosinolates in broccoli sprouts: How NaCl and salicylic acid affect their formation. *Plant Physiol. Biochem.*, 115, 343-353, doi: 10.1016/j.plaphy.2017.04.003.
- Feng, T., Sun, M., Song, S., Zhuang, H. & Yao, L. (2019). Gas Chromatography for Food Quality Evaluation. In J. Zhong & X. Wang (Eds.), *Evaluation Technologies for Food Quality* (pp. 219-265), Woodhead Publishing.
- Functional Food Center. Definition of functional food. 21.12.2020 tarihinde Functional Food Center Inc. sitesi <https://www.functionalfoodcenter.net/> adresinden alındı.
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K. & Reid, G. (2017). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, 14, 491-502, doi: 10.1038/nrgastro.2017.75.
- Guiné, R., Lima M. J. & Barroca, M. J. (2009). Role and health benefits of different functional food components. *Revista Millenium*, 37(14).
- Gupta, R., Bhatt, L. K. & Momin, M. (2019). Potent antitumor activity of Laccic acid and Phenethyl isothiocyanate combination in colorectal cancer via dual inhibition of DNA methyltransferase-1 and Histone deacetylase-1. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 377, 114631, doi: 10.1016/j.taap.2019.114631.
- Hara, R., Ishigaki, M., Kitahama, Y., Ozaki, Y. & Genkawa, T. (2018). Excitation wavelength selection for quantitative analysis of carotenoids in tomatoes using Raman spectroscopy. *Food Chem.*, 258, 308-313, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.089.
- Hassoun, A., Sahar, A., Lakhal, L. & Ait-Kaddour, A. (2019). Fluorescence spectroscopy as a rapid and non-destructive method for monitoring quality and authenticity of fish and meat products: Impact of different preservation conditions. *LWT – Food Sci. Technol.*, 103, 279-292, doi: 10.1016/j.lwt.2019.01.021.
- Karoui, R. & Blecker, C. (2010). Fluorescence spectroscopy measurement for quality assessment of food systems—a review. *Food Bioproc. Tech.*, 4, 364-386, doi: 10.1007/s11947-010-0370-0.
- Kılıç, G. B. & Karahan, A. G. (2010). Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve laktik asit bakterilerinin tanısında kullanılması. *Gıda*, 35(6), 445-452.
- Lange, K. W. (2020). Omega-3 fatty acids and mental health. *Global Health Journal*, 4(1), 18-30, doi: 10.1016/j.glohj.2020.01.004.
- Lee, H., Cho, B. K., Kim, M. S., Lee, W. H., Tewari, J., Bae, H., Sohne, S. I. & Chif, H. Y. (2013). Prediction of crude protein and oil content of soybeans using Raman spectroscopy. *Sensor. Actuat. B-Chem.*, 185, 694-700, doi: 10.1016/j.snb.2013.04.103.

- Lee, M. S. (Ed.) (2012). *Mass Spectrometry Handbook*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Lin, H., Bean, S. R., Tilley, M., Peiris, K. H. S. & Brabec, D. (2021). Qualitative and quantitative analysis of sorghum grain composition including protein and tannins using ATR-FTIR spectroscopy. *Food Anal Methods*, 14(2), 268-279, doi: 10.1007/s12161-020-01874-5.
- Liu, Y. & Nair, M. G. (2010). Non-pungent functional food components in the water extracts of hot peppers. *Food Chem.*, 122(3), 731-736, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2010.03.045.
- Ljubicic, M., Saric, M. M., Rumbak, I., Baric, I. C., Komes, D. Satalic, Z. & Guiné, R. P. F. (2017). Knowledge about dietary fibre and its health benefits: A cross-sectional survey of 2536 residents from across Croatia. *Med. Hypotheses*, 105, 25-31, doi: 10.1016/j.mehy.2017.06.019.
- Lucarini, M., Durazzo, A., del Pulgar, S., Gabrielli, P. & Lombardi-Boccia, G. (2018). Determination of fatty acid content in meat and meat products: The FTIRATR approach. *Food Chem.*, 267, 223-230, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.11.042.
- Lucci, P., Saurina, J. & Núñez, O. (2017). Trends in LC-MS and LC-HRMS analysis and characterization of polyphenols in food. *Trends Anal. Chem.*, 88, 1-24, doi: 10.1016/j.trac.2016.12.006.
- Makita, C., Chimuka, L., Steenkamp, P., Cukrowska, E. & Madala, E. (2016). Comparative analyses of flavonoid content in *Moringa oleifera* and *Moringa ovalifolia* with the aid of UHPLC-qTOF-MS fingerprinting. *S. Afr. J. Bot.*, 105, 116-122, doi: 10.1016/j.sajb.2015.12.007.
- Nair, M. S., Amalaradjou, M. A. & Venkitanarayanan, K. (2017). Chapter one – Antivirulence properties in combating microbial pathogenesis. *Adv. Appl. Microbiol.*, 98, 1-29, doi: 10.1016/bs.aambs.2016.12.001.
- Nawrocka, A. & Lamorska, J. (2013). Determination of Food Quality by Using Spectroscopic Methods, In S. Grundas & A. Stepniowski (Eds.), *Advances in Agrophysical Research* (pp. 347-367), Rijeka: InTech, doi: 10.5772/52722.
- Otles, S. & Hazalyurt, V. H. (2015). Instrumental Food Analysis, In P.C.K. Cheung & B.M. Mehta (Eds.), *Handbook of Food Chemistry* (pp. 151-164), Berlin, Springer, doi: 10.1007/978-3-642-41609-5_18-1.
- Pawlik, A., Wała, M., Hać, A., Felczykowska, A. & Herman-Antosiewicz, A. (2017). Sulforaphane, an isothiocyanate present in radish plants, inhibits proliferation of human breast cancer cells. *Phytomedicine*, 29, 1-10, doi: 10.1016/j.phymed.2017.03.007.
- Perez-Palacios, T., Solomando, J. C., Ruiz-Carrascal, J. & Antequera, T. (2021). Improvements in the methodology for fatty acids analysis in meat products: one-stage transmethylation and fast-GC method. *Food Chem.*, 130995, In Press.
- Quiñones, M., Sánchez, D., Mugerza, B., Miguel, M. & Aleixandre, A. (2011). Mechanisms for antihypertensive effect of CoccoanOX, a polyphenol-rich cocoa powder, in spontaneously hypertensive rats. *Food Res. Int.*, 44(5), 1203-1208, doi: 10.1016/j.foodres.2010.10.032.
- Saini, R. K., Keum, Y., Dagliad, M. & Rengasamy, K. R. (2020). Dietary carotenoids in cancer chemoprevention and chemotherapy: A review of emerging evidence. *Pharmacol.*, 157, 104830, doi: 10.1016/j.phrs.2020.104830.
- Saini, R. K., Rauf, A., Khalil, A. A., Eun-Young, K., Young-Soo, K., Anwar, S., Alamri, A. & Rengasamy, K. R. R. (2021). Edible mushrooms show significant differences in sterols and fatty acid compositions. *S. Afr. J. Bot.*, 141, 344-356, doi: 10.1016/j.sajb.2021.05.022.
- Samaan, R. A. (Ed.) (2017). *Dietary Fiber For The Prevention of Cardiovascular Disease: Fiber's Interaction Between Gut Microflora, Sugar Metabolism, Weight Control and Cardiovascular Health*, Los Angeles: Elsevier Inc.
- Sandhu, K. V., Demiray, Y. E., Yanagawa, Y. & Stork, O. (2020). Dietary phytoestrogens modulate aggression and activity in social behavior circuits of male mice. *Horm. Behav.*, 119, 104637, doi: 10.1016/j.yhbeh.2019.104637.
- Shipp, J. & Abdel-Aal, E.-S. M. (2010). Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *Open Food Sci. J.*, 4, 7-22, doi: 10.2174/1874256401004010007.
- Siegrist, M., Shi, J., Giusto, A. & Hartmann, C. (2015). Worlds apart. Consumer acceptance of functional foods and beverages in Germany and China. *Appetite*, 92, 87-93, doi: 10.1016/j.appet.2015.05.017.
- da Silva, P. G., Spricigo, P. C., Purgatto, E., de Alencar, S. M. & Jacomino, A. P. (2019). Volatile compounds determined by SPME-GC, bioactive compounds, in vitro antioxidant capacity and physicochemical characteristics of four native fruits from South America. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 74(3), 358-363, doi: 10.1007/s11130-019-00745-7.
- Southon, S. & Faulks, R. (2003). Carotenoids in Food: Bioavailability and Functional Benefits, In I. Johnson & G. Williamson (Eds.), *Phytochemical Functional Food* (pp. 107-127), Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Şahin, H., Can, Z. & Kolaylı, S. (2017). Bazı ormangülü ballarının fenolik içerik kompozisyonu. *Aricılık Araştırma Dergisi*, 9(2), 40-46.
- Tsai, J. Y., Tsai, S. H. & Wu, C. C. (2019). The chemopreventive isothiocyanate sulforaphane reduces anoikis resistance and anchorage-independent growth in non-small cell human lung cancer cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 362(1), 116-124, doi: 10.1016/j.taap.2018.10.020.
- Wixom, R. L., Gehrke, C. W., Berezkin, V. G. & Janak, J. (2011). Chromatography – A New Discipline of Science, In R.L. Wixom & C.W. Gehrke (Eds.), *Chromatography: A Science of Discovery* (pp. 1-13), New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., doi: 10.1002/9780470555729.ch1.
- Ying, H., Liu, J. & Du, Q. (2014). Analysis and determination of oestrogen-active compounds in fructus amomi by the combination of high-speed counter-current chromatography and high performance liquid chromatography. *J. Chromatogr B Analyt. Technol. Biomed. Life Sci.*, 958, 36-42, doi: 10.1016/j.jchromb.2014.03.006.
- Yu, H. X., Sun, L. Q. & Qi, J. (2014). The integrated quality assessment of Chinese commercial dry red wine based on a method of online HPLC-DAD-CL combined with HPLC-ESI-MS. *Chin. J. Nat. Med.*, 12(7), 517-524, doi: 10.1016/S1875-5364(14)60081-9.
- Yuan, G., Liu, Y., Liu, G., Wei, L., Wen, Y., Huang, S., Guo, Y., Zou, F. & Cheng, J. (2019). Associations between semen phytoestrogens concentrations and semen quality in Chinese men. *Environ. Int.*, 129, 136-144, doi: 10.1016/j.envint.2019.04.076.
- Zhu, X., Ouyang, W., Lan, Y., Xiao, H., Tang, L., Liu, G., Feng, K., Zhang, L., Song, M. & Cao, Y. (2020). Anti-hyperglycemic and liver protective effects of flavonoids from *Psidium guajava* L. (guava) leaf in diabetic mice. *Food Biosci.*, 35, 100574, doi: 10.1016/j.fbio.2020.100574.



Effect of viscosity on heat transfer in nanoparticles

Khandan Roshanaei¹, Edip Taşkesen^{2*}, Mehmet Özkaymak³

¹ Energy Systems Engineering Department, Karabuk University, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1469-8812), khandan.roshanaei@gmail.com

^{2*} Energy Systems Engineering Department, Sınak University, Sınak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3052-9883), ediptaskesen@gmail.com

³ Energy Systems Engineering Department, Karabuk University, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4575-8988), mozkaymak@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996917)

ATIF/REFERENCE: Roshanaei, K., Taşkesen, E. & Özkaymak, M. (2021). Effect of viscosity on heat transfer in nanoparticles. *European Journal of Science and Technology*, (28), 259-262.

Abstract

In our research, it has been concluded that there are various utilizing areas for Nano-fluids in industrial fields in solar energy systems and even thermal systems. The demotion of the particles in Nano-fluids as nonmetric size should vary between one to one hundred nanometers in the basic fluids. In this work, Nano-fluids usage in cooling or chilling and even heating and their usage districts were explored. Due to the researches, we identified that thermal conductivity's efficiency affects of the differences of the Nano-fluids with different aspects.

Keywords: Nano fluids, Heat Transfer, Nanoparticle, viscosity, thermal conductivity.

Nanopartiküllerde viskozitenin ısı transferine etkisi

Öz

Araştırmamızda, güneş enerjisi sistemlerinde ve hatta termal sistemlerde endüstriyel alanlarda Nano-akışkanların çeşitli kullanım alanlarının olduğu sonucuna varılmıştır. Nano-akışkanlardaki partiküllerin metrik olmayan boyut olarak indirgenmesi, temel akışkanlarda yüz nanometre arasında değişmektedir. Bu çalışmada Nano-akışkanların soğutma veya soğutma ve hatta ısıtmada kullanımı ve kullanım alanları araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda ısıl iletkenliğin veriminin Nano-akışkanların farklılıklarından farklı açılardan etkilendiğini tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nano akışkanlar, Isı Transferi, Nanopartikül, viskozite, termal iletkenlik.

1. Introduction

One of the most important topics in engineering is being the cost-effectiveness in products.

Due to basic Natural science, there are various types of colloidal. Moreover the important point in colloidal is their article which include clusters and Pickering emulsions [1,2]. Most of the times the nanoparticles are dispersed in a liquid base fluid. Although essentially the word ‘Nano fluid’ approved by Choi in International mechanical engineering congress and exhibition, San Francisco, 1995 [3]. Illustrative figures below in Figure 1 demonstrate the solid nanostructured materials with various properties.

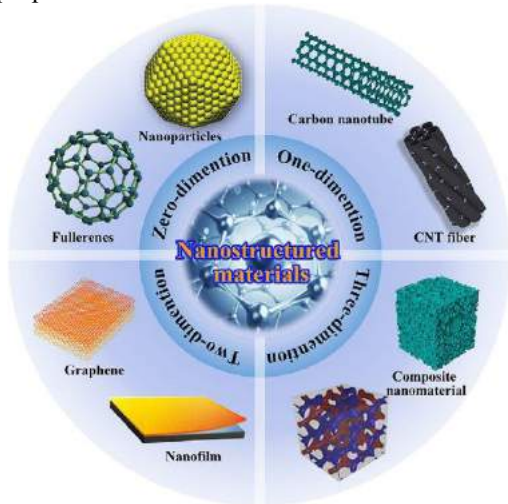


Fig. 1. Divergent construction of Nanomaterials[4–6].

The characters of nanoparticles are commented with their amount of surfaces and not their mass or weight and bulk [7]. The nature of nanoparticles leads them to possess appropriate thermal, electrical, biological, optical and catalytic properties, better performance and conduct them to be practical in various heat transfer engineering applications [8]. As it can be easily understood from figure 3, the heat conduction of Nano-fluids affects by different factors such as size, shape, thermal conductivity and temperature [9]. Even in Figure 3 the grain size, boundary, surface interactions, doping and temperature results on Nano-fluids has been depicted.

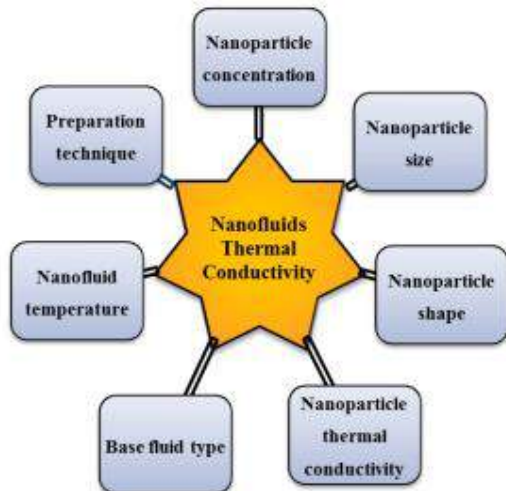


Fig. 2. The most effective thermal conductivity parameters on Nano-fluids [9].

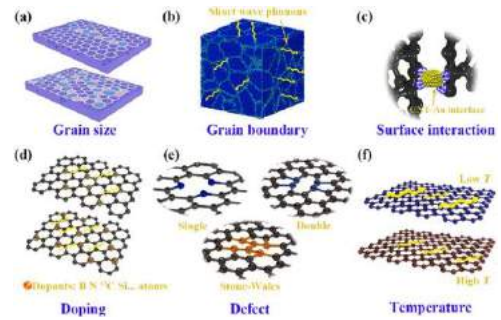


Fig. 3. Grain size, grain boundary, surface interaction, doping, defect, and temperature effects on thermal conductivity of Nano fluids [10].

Also various items are effective in the heat transfer of Nano fluids that are called Thermo-physical properties: such as the geometry of the Nano fluids, the structure of the base fluid, and the boundary conditions of fluids. Figure 4 reveals the ubiquitous usage of Nano materials.

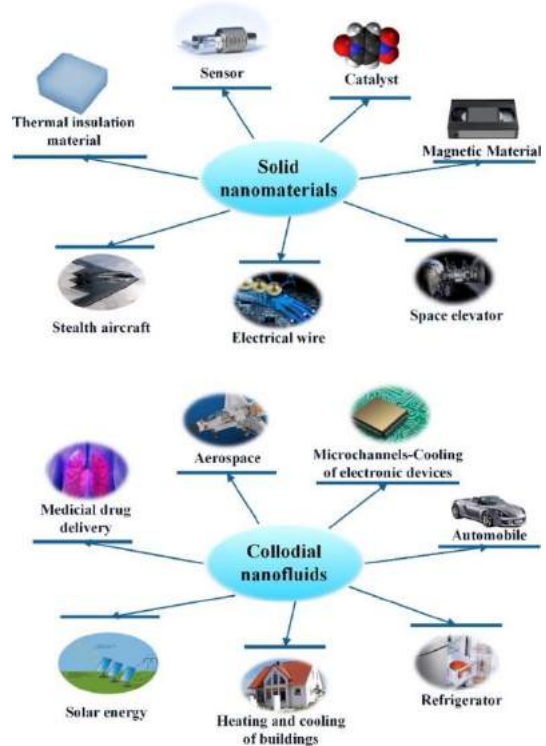


Fig. 4. Application of Nanomaterials and Nano fluids [8,11].

2. Material and Method

The physical properties such as thermal conductivity and viscosity are vital parameters to explore the possibility for heat transfer enhancement of passing and circulating fluid [12].

Mainly there are two procedures for the preparation of Nano fluids:

Single-step method and two-step method [13]. Figure 5 shows two different methods for the preparation of the Nano fluids.

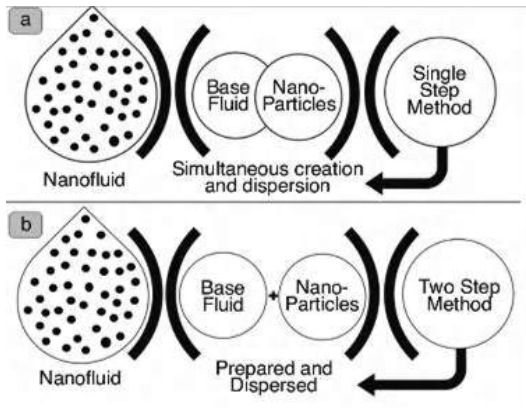


Fig. 5. Different methods of preparation Nano fluids [14,15].

In the single-step technique, the generating of nanoparticles follows the production of Nano-fluids. Vapour deposition, submerged arc and chemical depletion are mainly used in single-step methods. Even, generally two-step methods used to produce Nano fluids for heat transfer. Furthermore, in two-step methods

the process of the nanoparticles and Nano fluids is executed separately [12]. Also the improvement of thermal conductivity of Nano fluids while their working time would be the most logical way to boost their efficiency. In addition the various types of Nano fluids have expanded in the past couple of decades. Viscosity is one of the most important factors that regulate the skin fraction coefficient of the fluid [16], pressure reduction in the thermal system. As mentioned before viscosity effect the velocity of Nano fluids continuously the temperature characteristic of the heat transfer [17]. Parallel to the thermal conductivity, other factors such as size, dimension, shape, temperature, PH value, particle concentration and surfactant are effective in this issue. Due to scientific researches dynamic viscosity such as thermal conductivity is one of the key factors in Nano fluids[18]. The viscosity templates and even formulas contemplated the concentration of nanoparticles as a key that indicates the effectiveness of Nano fluids viscosity. Figure 6 demonstrates the most important factor on the viscosity of the fluids; here especially TiO₂ as Nano fluid has been selected.

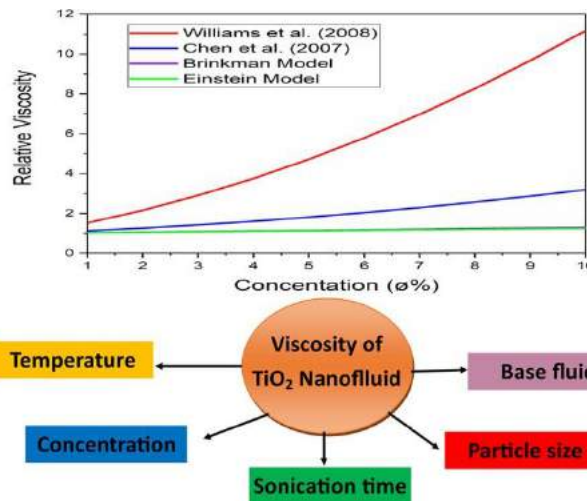


Fig. 6. Effective parameters on Viscosity of sample Nano fluid TiO₂ [19].

3. Conclusions and Recommendations

The following results are obtained by using Nano fluid.

- It has been observed that adding nanoparticles into the basic fluid as pure water increases the amount of heat transfer by the convection method.
- According to the Thermo physical properties of the Nano fluid, viscosity differed and consequently, it affected the heat transfer.
- With increasing the efficiency of heat transfer consequently, the Nano fluid morphological structure would be changed.
- The usage of Nano fluid in the industry has been widespread recently.

References

[1] [Dinsmore, A. D., Hsu, M. F., Nikolaidis, M. G., Marquez, M., Bausch, A. R., and Weitz, D. A., "Colloidosomes: selectively permeable capsules composed of colloidal particles", Science, 298 (5595): 1006–1009 (2002).

[2] Kim, S.-H., Yi, G.-R., Kim, K. H., and Yang, S.-M., "Photocurable Pickering emulsion for colloidal particles with structural complexity", Langmuir, 24 (6): 2365–2371 (2008).

[3] Choi, S. U. S. and Eastman, J. A., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", Argonne National Lab., IL (United States), (1995).

[4] Qiu, L., Zou, H., Tang, D., Wen, D., Feng, Y., and Zhang, X., "Inhomogeneity in pore size appreciably lowering thermal conductivity for porous thermal insulators", Applied Thermal Engineering, 130: 1004–1011 (2018).

[5] Vukovic, I., ten Brinke, G., and Loos, K., "Block copolymer template-directed synthesis of well-ordered metallic nanostructures", Polymer, 54 (11): 2591–2605 (2013).

[6] Mariscal, M. M., Olmos-Asar, J. A., Gutierrez-Wing, C., Mayoral, A., and Yacaman, M. J., "On the atomic structure of thiol-protected gold nanoparticles: a combined experimental and theoretical study", Physical Chemistry Chemical Physics, 12 (37): 11785–11790 (2010).

[7] Yonezawa, T., "Preparation of metal nanoparticles and their application for materials", *Nanoparticle Technology Handbook*, Elsevier, 829–837 (2018).

[8] Qiu, L., Zhu, N., Feng, Y., Michaelides, E. E., Żyła, G., Jing, D., Zhang, X., Norris, P. M., Markides, C. N., and Mahian, O., "A review of recent advances in thermophysical properties at the nanoscale: From solid state to colloids", *Physics Reports*, 843: 1–81 (2020).

[9] Tawfik, M. M., "Experimental studies of nanofluid thermal conductivity enhancement and applications: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 75: 1239–1253 (2017).

[10] Qiu, L., Zou, H., Wang, X., Feng, Y., Zhang, X., Zhao, J., Zhang, X., and Li, Q., "Enhancing the interfacial interaction of carbon nanotubes fibers by Au nanoparticles with improved performance of the electrical and thermal conductivity", *Carbon*, 141: 497–505 (2019).

[11] Tekir, M., Taskesen, E., Aksu, B., Gedik, E., and Arslan, K., "Comparison of bi-directional multi-wave alternating magnetic field effect on ferromagnetic nanofluid flow in a circular pipe under laminar flow conditions", *Applied Thermal Engineering*, 179: 115624 (2020).

[12] Yang, L., Xu, J., Du, K., and Zhang, X., "Recent developments on viscosity and thermal conductivity of nanofluids", *Powder Technology*, 317: 348–369 (2017).

[13] Yang, L., Du, K., Bao, S., and Wu, Y., "Investigations of selection of nanofluid applied to the ammonia absorption refrigeration system", *International Journal Of Refrigeration*, 35 (8): 2248–2260 (2012).

[14] Babar, H., Sajid, M. U., and Ali, H. M., "Viscosity of hybrid nanofluids: a critical review", *Thermal Science*, 23 (3 Part B): 1713–1754 (2019).

[15] Ali, H. M., Babar, H., Shah, T. R., Sajid, M. U., Qasim, M. A., and Javed, S., "Preparation techniques of TiO₂ nanofluids and challenges: a review", *Applied Sciences*, 8 (4): 587 (2018).

[16] Tamim, H., Dinarvand, S., Hosseini, R., Rahimi, H., and Pop, I., "Steady laminar mixed convection stagnation-point flow of a nanofluid over a vertical permeable surface in the presence of a magnetic field", *Journal Of Applied Mechanics And Technical Physics*, 57 (6): 1031–1041 (2016).

[17] Dinarvand, S., Hosseini, R., and Pop, I., "Homotopy analysis method for unsteady mixed convective stagnation-point flow of a nanofluid using Tiwari-Das nanofluid model", *International Journal Of Numerical Methods For Heat & Fluid Flow*, (2016).

[18] Alawi, O. A., Sidik, N. A. C., Xian, H. W., Kean, T. H., and Kazi, S. N., "Thermal conductivity and viscosity models of metallic oxides nanofluids", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 116: 1314–1325 (2018).

[19] Abdullah, A. M., Chowdhury, A. R., Yang, Y., Vasquez, H., Moore, H. J., Parsons, J. G., Lozano, K., Gutierrez, J. J., Martirosyan, K. S., and Uddin, M. J., "Tailoring the viscosity of water and ethylene glycol based TiO₂ nanofluids", *Journal Of Molecular Liquids*, 297: 111982 (2020).



Investigation of Some Ion Selective and Water Repellent Properties of Carbazole Based Polymers

Aysel Aydın Kocaeren

Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Çanakkale, Turkey
(ORCID ID: 0000-0003-4113-0517), aysel.kocaeren@comu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996942)

ATIF/REFERENCE: Aydın Kocaeren, A. (2021). Investigation of Some Ion Selective and Water Repellent Properties of Carbazole Based Polymers. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 263-269.

Abstract

A polymer derived from *poly-9-bis[4-(thiophen-3,4-yloxy)biphenyl]-9H-carbazole* containing a carbazole and thiophene group, abbreviated as B2, was synthesized via the oxidation method by using $FeCl_3$ as an oxidant. Additionally, P(B2) was synthesized and coated onto an ITO-glass surface via electrochemical oxidative polymerization. UV spectra of these polymers and their metal complexes (like Fe^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+}) were recorded in DMSO solutions, and then their UV spectra depending on the concentration were recorded. According to the results, when the concentration was rising, the absorbance peak intensity increased gradually for B2. Also, for P(B2), the absorbance peak followed a fluctuating course. The photo images of its some metal complexes were recorded under UV light. Resultantly, B2 polymer was determined to be selective against Fe^{2+} ion and it can be said that B2 could be used as fluorescence Fe^{2+} ion probe. Finally, contact angle (CA) measurements of B2 and P(B2) were realized and, according to the recorded photo images it can be said that B2 had more hydrophobic property than P(B2).

Keywords: electrochemical polymerization; carbazole; thiophene; contact angle; metal complex.

Karbazol Esaslı Polimerlerin Bazı İyon Seçici ve Su İtici Özelliklerinin İncelenmesi

Öz

Yapısında bir karbazol ve tiyofen grubu içeren B2 olarak kısaltılan *poli-9-bis[4-(tiyofen-3,4-iloksi)bifenil]-9H-karbazol*'den türetilen yeni bir polimer oksidan olarak $FeCl_3$ 'ün kullanılmasıyla oksidasyon metoduyla sentezlendi. İlave olarak, P(B2) sentezlendi ve elektrokimyasal oksidatif polimerizasyonla ITO cam yüzeyi üzerine kaplandı. Bu polimerlerin ve onların (Fe^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} gibi) metal komplekslerinin UV spektrumları DMSO çözeltilerinde kaydedildi, ve daha sonra onların konsantrasyona dayalı UV spektrumları kaydedildi. Sonuçlara göre B2 için konsantrasyon arttığında absorbans pik şiddeti kademeli olarak artmaktadır. Ayrıca, P(B2) için de absorbans piki dalgalı bir seyir izlemektedir. Bazı metal komplekslerinin fotoğraf görüntüleri UV ışığı altında kaydedildi. Sonuç olarak, B2 polimerinin Fe^{2+} iyonuna karşı seçici olduğu belirlendi ve B2' nin floresan Fe^{2+} iyon probu olarak kullanılabilmesi söylenebilir. Son olarak B2 ve P(B2)' nin temas açısı (CA) ölçümleri yapılmış ve kaydedilen fotoğraf görüntülerine göre B2'nin P(B2)'den daha fazla hidrofobik özelliğe sahip olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal polimerizasyon; karbazol; tiyofen; kontak açısı; metal kompleks

1. Introduction

Usually, electrochromic materials are obtained by electrochemical synthesis method and deposited on a conductive surface such as ITO (indium tin oxide) [1]. Electrochromic materials produced by electrochemical synthesis are generally based on monomeric electroactive compounds such as thiophene, carbazole, aniline, EDOT, pyrrole and their derivatives. Among these compounds, carbazole is preferred as the starting compound in scientific studies because of its suitable structure for electrochemical synthesis [2-4].

Below, the advantages offered by the carbazole unit used in these studies are briefly mentioned:

- 1) It is a strong electron donating (*p*-type) chromophore group.
- 2) Carbazole can be easily functionalized from the 3, 6- or *N*- positions. Therefore, different substituents can be easily attached to the carbazole ring [5].
- 3) Carbazole-containing compounds show photochemical stability.

In a study conducted by Aydın and Kaya in the literature, oxidative polymerization is performed by using FeCl₃ oxidant in chloroform solvent. According to this study, thermal measurements of polymers are performed by TGA-DTA analysis and residual amounts of polymers at 1000°C are determined. As a result, it is found that the thermal stability of the obtained polymers with FeCl₃ is quite good [6, 7]. It can be said that the oxidative polymerization process with FeCl₃ can be preferred when it is aimed to obtain polymers having high thermal stability.

As is known, the use of optical sensors has become widespread in recent years. Optical sensors have various advantages in terms of low detection limit, high concentration range, good selectivity and sensitivity, being economical and easy to manufacture [8, 9]. Therefore, these types of sensors serve detection technology in many application areas such as chemistry, biomedicine and environmental engineering [10].

Recently the application areas of synthesized optical sensors form medicine and molecular biology. The chemical structure of the materials used in optical sensors is very important. Therefore, every compound cannot be used as an optical sensor. To manufacture optical sensors, functional groups such as ether bridges (C-O-C), carboxyl (-COOR) and amine (-NH₂) groups must be in the structure of the compounds. While producing the optical sensors, various ions (Cd²⁺, Co²⁺, Fe²⁺, F⁻, Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Zn²⁺, Ni²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺, Hg²⁺, Ca²⁺, CO₃²⁻, CH₃COO⁻,...etc.) are used. These ions can be diversified by the researcher depending on the purpose and target of the study [11, 12].

In addition to optical sensor applications, the study of electrochromic properties of metal sensitive compound has become popular in recent years. Such complex compounds are often used as electrochemical transistors. In particular, there is a need to develop poly-carbazole-derived compounds as ion-selective microelectrochemical transistors [13].

In this study, we chose carbazole as the starting compound due to the advantages of the carbazole as mentioned above and performed electropolymerization and oxidative polymerization processes on it. To investigate the ion selectivity properties of the compounds we used Pd²⁺, Fe³⁺, Cu²⁺ and Co²⁺ ions [14] due to these

kinds of ions that we have. In the article published by Danjou *et al* in 2012, the synthesis of a *N*-azacrown carbazole derived compound was carried out. It had been reported that this compound behaved selectively against Fe³⁺ ion in an aqueous environment [15]. Similarly, in this study it was determined that the synthesized polymer (B2) showed selectivity against Fe²⁺ ion. We wanted to investigate the water repellent characteristics of the obtained polymers due to their synthesis via thin film coating. Also, CA measurements of each polymer were carried out at volume of 5,81 and 4,34 μL for P(B2) and B2, respectively. According to the obtained results, the polymer P(B2) had no water repulsive property, but B2 is better in water repellency than P(B2) when see CA measurements.

2. Material and Method

2.1. Materials

Carbazole, 3,4-dibromo thiophene, ethanol, methanol, chloroform (CHCl₃), acetonitrile (ACN), tetrahydrofuran (THF), Cd(CH₃COO)₂·2H₂O, Pb(CH₃COO)₂·3H₂O, FeCl₃·6H₂O (CH₃COO)₂Hg and toluene were supplied from Merck Chemical Co. (Germany) and used as received. 4-iodo phenol was supplied from Aldrich Chemical Co. (USA). Boron trifluoride ethyl etherate (BF₃EtE) was supplied from Fluka Chemical Co.

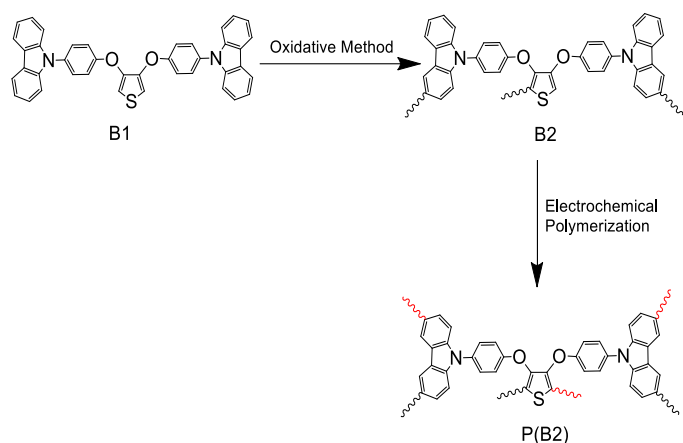
2.2. Measurement Methods

UV spectra were measured by Perkin Elmer Lambda 950 UV spectrophotometer, and used on Thermo Scientific Visioncollect Software programme for the purpose of viewing spectra. The CA measurements were carried out on fiber-modified Mg AZ31 alloys using a KSV Attension Theta Lite Optical Tensiometer with a sessile drop method. Polymer droplets of approximately 4.5-5 μL were deposited on glass surfaces with manually controlled Hamilton syringe. UV lamp was used to view interactions with metal complexes of synthesized polymers.

2.3. Syntheses of B2 and P(B2)

B2 and P(B2) were synthesized as in literature [1, 16] via oxidation method and electrochemical polymerization. The related articles were published by Kocaeren [17] in scientific journal (See ref. 16 and 17). Additionally, the electrochemical polymerization conditions and the characterization data that illuminate the structures of B2 and P(B2) polymers were given in the experimental and results sections of these manuscripts. Possible coupling or binding positions of the obtained polymer with FeCl₃ oxidant is shown as in literature (See ref. 16).

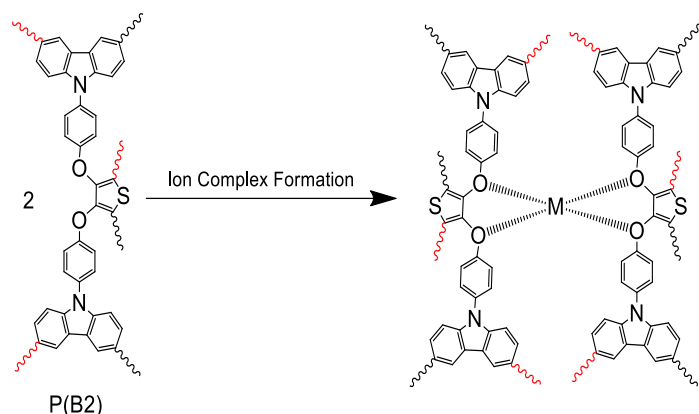
General synthesis scheme is given in Scheme 1, which shows the structures of B1, B2 and P(B2) compounds.



Scheme 1. Synthesis of the polymers performed by using FeCl_3 oxidant via oxidative method and electrochemical polymerization

2.4. Obtaining of B2 and P(B2)-metal complexes

Solutions of $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Hg}$ (1 mmol) in DMSO (10 mL) were separately added to a solution of B2 or P(B2) (2 mmol/unit) in DMSO (20 mL), respectively. Then, polymer-metal complexes solutions were shaken well in UV tube. General viewing of ion complex formation is shown in Scheme 2, that is ion metal complex formation scheme of P(B2). B2 also can form ion metal complexes via the same mechanism.



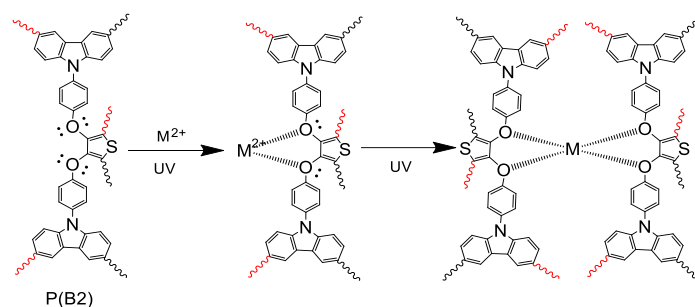
Scheme 2. General synthesis scheme of ion metal complex of P(B2)

3. Results and Discussion

3.1. Binding mechanism of metal to the synthesized polymers (B2 and P(B2))

The C-O-C (ether) groups in the structure of the compounds are expected to interact with the ions as mentioned above by coordinating covalent bonding. Since there are no functional groups (-C-O-C, -COOR, -NH, -CH=N-... etc.) attached to the thiophene ring in the structures of the synthesized compounds, there is no metal bonding through the thiophene ring [1, 16, 17]. Any metal-ion interaction through nitrogen atoms in the carbazole rings is not a subject due to the steric effect. In the studies in the literature, it has been determined from the UV spectra of the compounds that the groups containing C and O interact with ionic species such as Pd^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} and Co^{2+} in a coordinated

manner. Therefore, the synthesized polymers are expected to interact (forming complexes) with such ions via the C-O-C groups [9, 14]. The only attachment or coordinating covalent bonding point may be possible through these groups. Scheme 3 shows binding mechanism of ion metal named as M^{2+} (Pd^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} and Co^{2+} ions) under UV light.



Scheme 3. Binding mechanism of ion metal (M^{2+}) under UV light.

3.2. UV Spectra

Ultraviolet-visible (UV-vis) spectra are measured by Perkin Elmer Lambda 950 UV spectrometer, and used on Thermo Scientific Visioncollect Software programme via viewing spectra. The absorption spectra are recorded by using DMSO solutions at room temperature (25°C). The UV spectra samples of the polymers are prepared in DMSO at concentration of 5 mg/5mL (1.0 M), and similarly for that of their metal complexes are at concentration of 5mg/5mL in DMSO. Samples used in concentration measurements are prepared by diluting on these prepared solutions [18]. The UV-vis spectroscopic studies are carried out in DMSO solutions (v/v:4/1) of B2 and P(B2), and their metal complexes, respectively. The UV-vis spectra of the synthesized polymers are shown in Fig. 1. As seen in Fig. 1, B2 and P(B2) have different λ_{onset} values such as 400 nm and 468 nm. This result clearly indicates that the poly-conjugated derivative of P(B2) has higher λ_{onset} value than its starting compound. Also, a red shift occurs at the absorption edges of the synthesized polymer in comparison to B2. This is because of the poly-conjugated structures of the polymers which increase HOMO and decrease LUMO energy levels thus results in lower band gaps. Resultantly, UV results show that the synthesized polymeric compound (P(B2)) has lower the optical band gaps as per its starting compound (B2), as expected. The adding more units together have been demonstrated for the formation of the polymeric conjugate π system [19].

When investigate the UV spectrum of B2 polymer it can be seen that it has three maximum absorbance peaks. These are 224,76; 248,24 and 288,15 nm, respectively. P(B2) has two absorbance peaks at 245, 31 and 276,49 nm. Moreover, the other optical parameters of the compounds are given in Table 1. According to Table 1, E_g and λ_{onset} values are 3,11 and 2,65; 400 and 468 nm, respectively for B2 and P(B2), also the remarkable changes are observed in their spectra. For example, when P(B2) compared with B2, that has three different absorbance peaks as mentioned above. Additionally, P(B2) polymer has a red shift, which occurs at the absorption edge of P(B2) at approximately 320 nm.

The optical band gaps (E_g) could be obtained by using the following equation as in the literature [20]:

$$E_g = 1242/\lambda_{\text{onset}} \quad (1)$$

where λ_{onset} is the onset wavelength which can be determined by intersection of two tangents on the absorption edges. λ_{onset} also indicates the electronic transition start wavelength. The optical band gaps values for B2 and P(B2) are calculated as 3.11 eV, and 2.65 eV, respectively as mentioned above. This result shows that the P(B2) has lower optical band gap when compared with the B2 as expected. These results are in agreement with the literature data [21].

Table 1. Optical measurement parameters of the synthesized polymers

Compounds	E_g (eV)	λ_{max} (nm)	λ_{onset} (nm)
B2	3,11	224,76; 248,24; 288,15	400
P(B2)	2,65	245,31; 276,49	468

Figure 1 shows UV spectra of B2 and P(B2) depends on concentration, respectively. Also, to observe maximal absorbance values of the polymers are investigated and UV spectra of the synthesized polymers are obtained in different concentrations of their DMSO solutions. Firstly the concentration of the solutions is prepared as 0.5 M and then they are diluted to the concentrations in range of 1.0, 1.5 and 2 M. If Fig. 1A is examined it can be seen that there is a significant increase in absorbance depends on concentration at certain wavelengths. As seen in Fig. 1B significant increases in absorbance peak values in range of 0.5 and 1.5 M are recorded but the absorbance peak is decreased at the concentration of 2 M. This decreasing can be clearly seen from the absorbance graph plotted against the concentration. Resultantly, for P(B2) when the concentration increases before the absorbance peak increases in range of 0.5 and 1.5 M and then the absorbance peak has decreased at 2 M concentration [22].

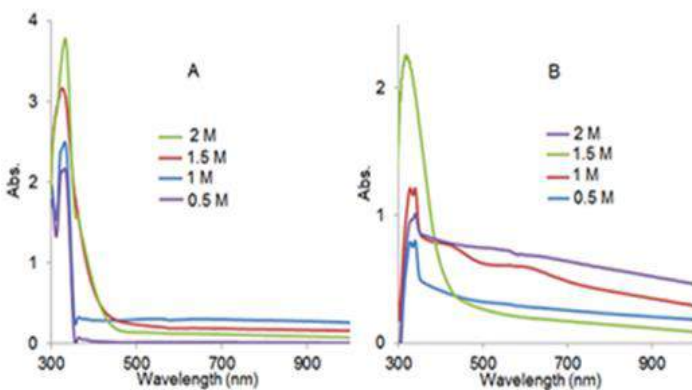


Fig. 1. UV spectra of A) B2 and B) P(B2) depends on concentration

The mentioned situation above can be explained more easily with Figure 2. According to this, the changing in absorbance peaks of B2 depending on concentration is linear but that of P(B2) is not linear, firstly it has a rising curve and a descending curve later. Therefore the correlation value ($R^2 = 0,337259$) is far from 1, whereas as calculated 0,997993 the correlation value (R^2) of B2

is pretty close to 1 [23]. It is drawn the absorbance changing graphs at maximum wavelengths in UV spectra of B2 and P(B2) to investigate the changing depending on absorbance. Thus, it can be seen that the absorbance changing at maximum wavelengths in UV spectrum of B2 is similar to Fig. 2A. But the correlation value is calculated as 0,7985998 and a linear curve has been obtained and that of P(B2) has a descending curve similar to Fig. 2B.

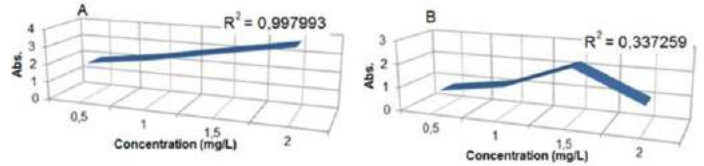


Fig. 2. Absorbance changing graphs of A) B2 and B) P(B2) depends on concentration

UV spectra of the metal complexes belonging to the polymeric compounds are shown in Fig. 3. As seen in Fig. 3B, that has a shift to the right in wavelengths of the metal complexes of P(B2). As mentioned above this is named as red shift and this is related to the poly-conjugated structure of the P(B2) polymer [24]. Also, its metal complexes have the same property and as a result of this, it is obtained in a widespread UV spectrum. However, UV spectra of B2 and its metal complexes are normally sharper in compared to P(B2) as seen in Fig. 3A.

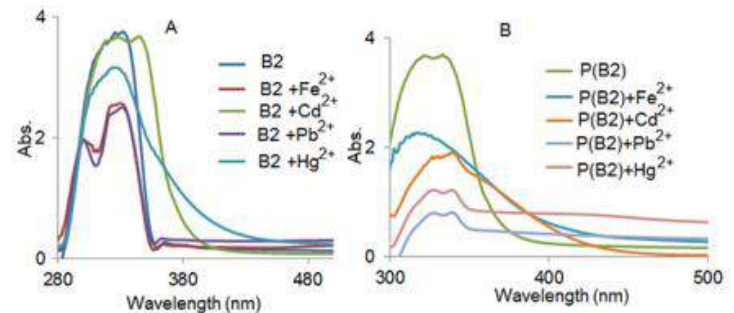


Fig. 3. UV spectra of A) B2 and B) P(B2), and their metal complexes

Additionally, the electronic parameters of the polymer-metal complexes are given Table 2. According to the Table 2, the optical band gaps of the compounds are different and as follows: $B2 + Fe^{2+} < B2 + Cd^{2+} < B2 + Hg^{2+} < B2 + Pb^{2+}$ for B2, and $P(B2) + Hg^{2+} < P(B2) + Cd^{2+} < P(B2) + Pb^{2+} < P(B2) + Fe^{2+}$ for P(B2), respectively. As investigated Table 2, except for E_g value of metal complex with Hg^{2+} of P(B2), E_g values of the other metal complexes of P(B2) are higher than that of B2. Although E_g values of metal complexes of P(B2) are higher than that of B2, E_g value of P(B2) are obtained as 2.65 eV, as mentioned above.

Table 2. Optical measurement parameters of the synthesized metal complexes of B2 and P(B2).

Compounds	E _g (eV)	λ _{max} (nm)	λ _{onset} (nm)
B2+ Fe ²⁺	2,61	315,59	476,03
B2+ Cd ²⁺	2,73	336,01	454,53
B2+ Pb ²⁺	3,44	325,26; 336,1	360,74
B2+ Hg ²⁺	3,35	326,38; 337,21	370,41
P(B2)+ Fe ²⁺	3,74	318,35	332,07
P(B2)+ Cd ²⁺	3,01	312,60; 334,22	412,30
P(B2)+ Pb ²⁺	3,70	318,21	335,29
P(B2)+ Hg ²⁺	2,89	312,75	429,85

B2 and P(B2) are treated with the some metals (Fe²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺, Pb²⁺) in DMSO solvent. Figure 4 shows the photographs of interaction with Fe²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺ and Hg²⁺ of B2 in DMSO solution, respectively under UV light. In the experiments, it was determined that the B2 behaves selectively against Fe²⁺ ion under UV light. But, the selectivity against any metal ions (Fe²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺, Pb²⁺) of P(B2) polymer could not be determined. Additionally, the photographs of P(B2)-metal complex mixtures are taken under UV light, but no change observed. It can be said that P(B2) polymer interacts with metals due to the changes in their UV spectra. Since no change is observed in the photographs, it cannot be said that it is selective against the mentioned ions. It is estimated that the Fe²⁺ ions interacts through ether bridges (C-O-C) in the structure of the compound [14]. Therefore, it can be said that B2 can be used as the fluorescence Fe²⁺ ion probe. Considering the widespread use of fluorescence probes in medicine and molecular biology in the next years, there will be a need for materials selective against Fe²⁺ and Fe³⁺ ions [15]. The synthesized polymer is important as it will allow the development of these materials [25].

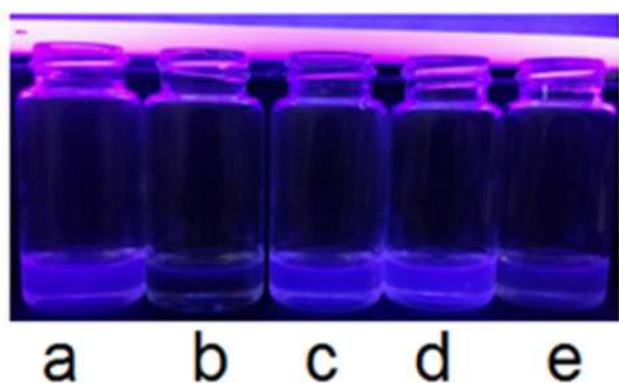


Fig. 4. Photographs of a) B2 and interaction with b) Fe²⁺, c) Cd²⁺, d) Pb²⁺ and e) Hg²⁺ of B2 in DMSO solution under UV light.

3.3. Contact Angle (CA) Measurement

CA measurement technique is used because of its simplicity. The contact angle (CA) is measured for determine polymers surface hydrophobicity. A simple set up is built which involved dropping a 100 μL water droplet and measuring the advancing *e-ISSN: 2148-2683*

angle of contact [26] between the droplet and the sample surface with graduated reticule and a 10X magnifying glass [27]. A simple of P(B2) in volume of 5,81 μL is dropped onto the water covered glass surface. The time is approximately 4,8 s for both polymers. Other data obtained with CA left and right are given Table 3. As seen in Table 3, CA values of P(B2) are lower than B2, that means low hydrophobicity property.

In other words, considering the structures of the polymeric compounds, that contain ether groups and benzene rings [28]. According to literature [29, 30], because of the hydrophilic ether groups and the hydrophobic benzene rings, the contact angle for the polymer B2 is decreasing to approximately 65°.

Table 3. Contact angle (CA) data of the compounds.

Compounds	Time [s]	CA left [°]	CA right [°]	CA mean [°]	Volume [μL]
P(B2)	4,85	29±2	35±3	32±3	5,81
B2	4,74	65±1	65±1	65±1	4,34

Recent progress has indicated that surfaces with ideal roughness and microtextured structures have low interfacial free energies and remarkably high contact angles, as in the case of lotus leaves, the contact angle (CA) of which is about 161.0 ± 2.7° [31-34]. Also, B2 has low CA value as 65° thus it can be said that the synthesized polymers have generally hydrophilic property due to their low CAs. As seen in Fig. 5, it can be seen that B2 is a hydrophobic structured material than P(B2). This situation can be explained as follows:

The oxidative polymerization with FeCl₃ may remove with influence of oxide groups in the structure of the specimen. These oxide groups have a given polarity which give them an attraction to water. Thus the hydrophobicity and the measured CA is decrease. However, these oxide groups have a higher surface free energy than the surrounding methyl groups [35]. Additionally, the realized electrochemical polymerization after the oxidative polymerization is further curtailed these oxide groups since the resulting structure has longer polymer chain structures and more branched groups just like P(B2).

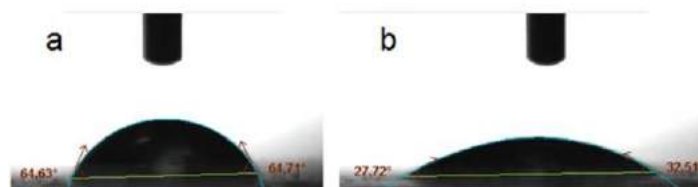


Fig. 5. Photo images of contact angle measurements of a) B2 and b) P(B2)

4. Conclusions and Recommendations

Two polymers as named B2 and P(B2) were firstly synthesized by two different methods like oxidative polymerization with FeCl₃ and electrochemical polymerization. Secondly, some metal complexes (Fe²⁺, Cd²⁺, Hg²⁺, Pb²⁺) of these

polymers were obtained in UV tub. We can understand that metal complexes are formed from the changes in their UV spectra. According to the analysis results, B2 polymer was determined to be selective against Fe^{2+} ion since it can be seen that the photographs of its some metal complexes were taken under UV light. It means that B2 could be used as fluorescence Fe^{2+} ion probe. Also, the UV spectra depend on their concentration at 0.5, 1, 1.5 and 2 M were recorded. Although for P(B2) as the concentration increased before the absorbance peak increased in range of 0.5 and 1.5 M and then the absorbance peak decreased at 2 M concentration while the concentration was rising, the absorbance peak intensity increased gradually for B2. Finally, CA measurements of B2 and P(B2) were realized and, according to obtained CA data it could be said that B2 had more hydrophobic property than P(B2).

References

- Kocaeren, A.A., 2015. Electrochemical synthesis and electrochromic application of a novel polymer based on carbazole. *Org. Electron.* 24, 219-226.
- Ramírez, A.M., Cattin, L., Bernède, J.C., Díaz, F.R., Gacitúa, M.A., del Valle, M.A., 2021. Nanostructured TiO_2 and PEDOT electrodes with photovoltaic application. *Nanomaterials-Basel.* 11 (1), 107-114.
- Kiss, L., Kovács, F., Kunsági-Máté, S., 2021. Electropolymerization of N,N'-diphenylguanidine in non-aqueous aprotic solvents and alcohols. *Period. Polytech. Chem. Eng.* 65 (1), 139-147.
- Sheng, K., Li, L., Zhang, Q., Wang, Y.L., 2020. A highly sensitive sensor based on electropolymerization for electrochemical detection of esculetin. *Microchem. J.* 159, 105368-105373.
- Grazulevicius, J.V., Strohriegl, P., Pielichowski, J., Pielichowski, K., 2003. Carbazole-containing polymers: synthesis, properties and applications. *Prog. Polym. Sci.* 28 (9), 1297-1353.
- Aydın, A. Kaya, İ., 2013. Syntheses, characterizations and electrochromic applications of polymers derived from carbazole containing thiophene rings in side chain with electrochemical and FeCl_3 methods. *Org. Electron.* 14 (3), 730-743.
- Kocaeren, A.A., 2016. Synthesis and characterization of novel polymers based on carbazole with NaOCl and FeCl_3 oxidants. *Iran Polym. J.* 25, 15-24.
- Firooz, A.R., Ensafi, A.A., Hoseini, K.S., Kazemifard, N., 2014. Development of a highly sensitive and selective mercury optical sensor based on immobilization of bis(thiophenyl)-4,4'-methylenedianiline on a PVC membrane. *Mat. Sci. Eng. C Mater Biol. Appl.* 38, 73-78.
- Zargoosh, K., Badadi, F.F., 2015. Highly selective and sensitive optical sensor for determination of Pb^{2+} and Hg^{2+} ions based on the covalent immobilization of dithizone on agarose membrane. *Spectrochim. Acta A: Mol. Biomol. Spect.* 137, 105-110.
- Chiam, Y.S., Lim, K.S., Harun, S.W., Gan, S.N., Phang, S.W., 2014. Conducting polymer coated optical microfiber sensor for alcohol detection. *Sensor Actuat. A* 205, 58-62.
- Zhang, L., Wen, Y., Yao, Y., Xu, J., Duan, X., Zhang, G., 2014. Synthesis and characterization of pedot derivative with carboxyl group and its chemo/bio sensing application as nanocomposite, immobilized biological and enhanced optical materials. *Electrochim. Acta* 116, 343-354.
- Echabaane, M., Rouis, A., Bonnamour, I., Ouada, H.B., 2013. Studies of aluminum (III) ion-selective optical sensor based on a chromogenic calix[4]arene derivative. *Spectrochim. Acta Part A: Mol. Biomol. Spectrosc.* 115, 269-274.
- Saxena, V., Shirodkar, V., Prakash, R., 2000. Copper(II) ion-selective microelectrochemical transistor. *J. Solid S. Electrochem.* 4, 234-236.
- Cui, H., Liu, H., Chen, S., Wang, R., 2015. Synthesis of amphiphilic spiropyran-based random copolymer by atom transfer radical polymerization for Co^{2+} recognition. *Dyes Pigments* 115, 50-57.
- Danjou, P.E., Lyskawa, J., Delattre, F., Becuwe, M., Woisel, P., Ruellan, S., Fourmentin, S., Cazier-Dennin, F., 2012. New fluorescent and electropolymerizable N-azacrown carbazole as a selective probe for iron (III) in aqueous media. *Sensor Actuat. B: Chem.*, 171-172, 1022-1028.
- Kocaeren, A.A., 2016. A new polymer for OLEDs based on carbazole: white, turquoise blue and light orange colors. *Int. J. Plast. Technol.* 20 (1), 143-158.
- Kocaeren, A.A., 2016. Synthesis and electrochromic performance of a novel polymer based on an oxidative polymer derived from carbazole and thiophene. *J. Polym. Res.* 23, 66-75.
- Kaya, İ., Aydın, A., 2011. Synthesis and characterization of chelate polymers containing etheric diphenyl ring in the backbone: thermal, optical, electrochemical, and morphological properties. *Polym. Adv. Technol.* 22, 951-961.
- Kaya, İ., Aydın, A., 2008. Synthesis, characterization, thermal stability, conductivity and band gaps of monomer and oligo-4-[(thien-2-ylmethylene) amino] phenol. *e-Polymers* 071, 1-15.
- Kaya, İ., Temizkan, K., Aydın, A., 2013. Synthesis and characterization of aromatic and aliphatic ether bridged polymers containing carbazole moieties. *Mat. Sci. Eng. B* 178 (13), 863-874.
- Tan, K.H., Samyilingam, L., Aslfattahi, N., Saidur, R., Kadirgama, K., 2021. Optical and conductivity studies of polyvinyl alcohol-MXene (PVA-MXene) nanocomposite thin films for electronic applications. *Opt. Laser. Tech.* 136, 106772-106783.
- Kaya, İ., Aydın, A., 2009. Synthesis, characterization, thermal degradation and electrical conductivity of oligo[2-(thien-2-yl-methylene)aminophenol] and oligomer-metal complexes. *Chinese J. Poly. Sci.* 27 (4), 465-477.
- Zhong, J.L., Mori, T., Kashiwagi, T., Yamashiro, M., Kusunose, S., Mimami, H., Tsujimoto, M., Tanaka, T., Kawashima, H., Nakagawa, S., Ito, J., Kijima, M., Iji, M., Watanabe, M.M., Kadowaki, K., 2021. Characteristic terahertz absorption spectra of paramylon and paramylon-ester compounds. *Spectrochim. Acta Part A: Mol. Biomol. Spectrosc.* 244, 118828-118834.

- 24.** Midoune, A., Messaoudi, A., 2021. DFT/TDDFT studies of the structural, electronic and NBO properties of some complexes with the tetrathiafulvalene-1,3-benzothiazole ligand. *Inorganica Chim. Acta* 516, 120151-120158.
- 25.** Tong, Y.L., Zeng, Z.H., Yu, K., Bao, J.Q., Yin, J.J., 2020. A fiber optic sensor for 2,4-dichlorophenol analysis based on optical composite oxygen-sensitive film. *J. Wuhan Univ. Techn.- Mater. Sci. Ed.* 35, 743-749.
- 26.** Horzum Polat, N., Kap, O., Farzaneh, A., 2018. Anticorrosion coating for magnesium alloys: electrospun superhydrophobic polystyrene/SiO₂ composite fibers. *Turk. J. Chem.* 42, 672-683.
- 27.** Gorur, R.S., Chang, J.W., Amburgey, O.G., 1990. Surface hydrophobicity of polymers used for outdoor insulation. *T. Power Del.* 5 (4), 1923-1933.
- 28.** Rathnayake, R.M.N.M., Mantilaka, M.M.M.G.P.G., Hara, M., Huang, H.H., Wijayasinghe, H.W.M.A.C., Yoshimura, M., Pitawala, H.M.T.G.A., 2017. Graphite intercalated polyaniline composite with superior anticorrosive and hydrophobic properties, as protective coating material on steel surfaces. *Appl. Surf. Sci.*, 410, 445-453.
- 29.** Ding, H., Zhu, C., Zhou, Z., Wan, M., Wei, Y., 2006. Hydrophobicity of Polyaniline Microspheres Deposited on a Glass Substrate. *Macromol. Rapid Commun.* 27, 1029-1034.
- 30.** Zhou, C., Gong, X., Qu, Y., Han, J., 2016. Hydrophobic and high adhesive polyaniline layer of rectangular microtubes fabricated by a modified interfacial polymerization. *Appl. Surf. Sci.*, 379, 124-131.
- 31.** Makar, G.L., Kruger, J., 1993. Corrosion of magnesium. *Int. Mater. Rev.* 38, 138-153.
- 32.** Aghion, E., Bronfin, B., Eliezer, D., 2001. The Role of the magnesium industry in protecting the environment. *J. Mater. Process. Technol.* 117 (3), 381-385.
- 33.** Kleiner, M., Geiger, M., Klaus, A., 2003. Manufacturing of lightweight components by metal forming. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 52 (2), 521-542.
- 34.** Huo, H., Li, Y., Wang, F., 2004. Corrosion of AZ91D magnesium alloy with a chemical conversion coating and electroless nickel layer [J]. *Corros. Sci.* 46, 1467-1477.
- 35.** Berger, T., Sundhararajan, S., Nagaosa, T., 1997. Influence of temperature on the hydrophobicity of polymers. *Confer. Electr. Insul. Dielectr. Minneapolis*, 394.



Geometric Modeling in Some Micromorphological Structures

Ali Özdemir¹ ve Canan Özdemir^{2*}

¹ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9330-7084), acaozdemir@gmail.com

^{2*} Manisa Celal Bayar University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1316-4146), cozdemir13@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996946)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, A. & Özdemir, C. (2021). Geometric Modeling in Some Micromorphological Structures. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 270-274.

Abstract

In this study, we determined that some micromorphological structures of plants have geometric models and mathematical formulas. There are specialized structures in plants that perform tasks such as making usable, storing and transmitting the products formed as a result of metabolic activities. These structures take different shapes depending on the complexity of their functions. These shapes enable them to perform their duties in the most efficient way. As a result of the examinations under the microscope, it was observed that plant crystals and vascular tissue elements from these structures have special geometric shapes that provide them with important advantages such as small space and durability. In the microscopic observations of the plants we examined, it was determined that the crystals and some transmission tissue elements that serve to transmit water and dissolved minerals in plants show a minimal surface feature, which has an important place in geometry. Minimal surfaces are defined as surfaces with zero mean curvature and expressed with mathematical formulas. In addition, it has been determined that these structures show geometric patterns called helicoid and elongated triangular bipyramid. The schematic shapes of these geometric models and the photographs taken from the plant samples under the microscope as a result of laboratory studies are given in the study.

Keywords: Geometric modelling, Micromorphology, Minimal surface.

Bazı Mikromorfolojik Yapılarda Geometrik Modellemeler

Öz

Bu çalışmada, bitkilerin bazı mikromorfolojik yapılarının geometrik modellere ve matematiksel formüllere sahip olduğunu belirledik. Bitkilerde metabolik faaliyetler sonucu meydana gelen ürünlerin kullanılabilir hale gelmesi, depolanması, iletilmesi gibi görevleri yapan özelleşmiş yapılar bulunmaktadır. Bu yapılar görevlerinin kompleksliğine bağlı olarak farklı şekiller alırlar. Bu şekiller onların görevlerini en verimli şekilde yapabilmelerini sağlar yapıdadır. Mikroskop altında incelemeler sonucunda bu yapılardan bitki kristalleri ve iletim doku elemanlarının onlara az yer kaplama ve dayanıklılık gibi önemli avantajlar sağlayan özel geometrik şekillere sahip oldukları gözlemlendi. İncelediğimiz bitkilerin mikroskopik gözlemlerinde, kristallerin ve bitkilerde su ve çözülmüş minerallerin iletilmesine hizmet eden bazı iletim doku elemanlarının geometride önemli bir yere sahip olan minimal bir yüzey özelliği gösterdikleri tespit edildi. Minimal yüzeyler sıfır ortalama eğriliği olan yüzeyler olarak tanımlanıp matematiksel formüller ile ifade edilir. Ayrıca bu yapıların helikoid ve uzatılmış üçgen bipiramit (Elongated triangular bipyramid) olarak adlandırılan geometrik modeller gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu geometrik modellere ait şematik şekiller ve laboratuvar çalışmaları sonucu bitki örneklerinden mikroskopta çekilmiş fotoğrafları çalışmada verilmiştir.

Keywords: Geometric modelling, Micromorphology, Minimal surface

1. Introduction

There are specialized structures in plants that perform tasks such as making usable, storing and transmitting the products formed as a result of metabolic activities. These structures take on specialized shapes depending on the complexity of their functions. These shapes enable them to perform their duties in the most efficient way.

Plant crystals, one of these structures, are the places where mineral acid salts formed as a result of metabolism in many plants are stored in a way that takes up the least space. Some of these stored inorganic salts are harmful to the plant. The harmful ones combine with the calcium of the plant and turn into these crystals and become harmless to the plant cells. Plant crystals display an astonishing variety of shapes. The most common are raphide crystals, which are in the form of regular rods [1]. The shaping of plant crystals is not a simple structure; they are formed in certain shapes and sizes by this biomineralization process [2], [3].

Another structure that has specialized shapes in plants is the elements of xylem, which is one of the tissues that serve as a transmission in plants. These structures also consist of highly specialized cells. Some of these tissue cells die at maturity, but the woody cell walls remain and take different shapes and form pipe like structures. These structures serve to convey water and dissolved minerals in plants to the places where they are needed [4], [5], [6]. They perform these services in the most efficient way thanks to their geometric shapes.

In this study, it has been shown that the micromorphological structures of some plant parts have geometric properties and can be described mathematically. There are some mathematical studies about the visible external structures of plants in the literature [7], [8]. However, mathematical studies on the micromorphological structures of the plants that constitute the subject of our study are quite limited [9], [10].

2. Material and Method

For tracheal elements, leaf and stem parts where conductive tissues can be easily observed were evaluated. Anatomical sections were taken using fresh samples of these parts and samples fixed in 70% ethanol. Anatomical sections were colored using safranin and fast-green dyes [11]. The obtained samples were examined using a Leica DM 3000 light microscope. Afterwards, photographs of micromorphological structures were taken using a motorized Leica DM 3000 microscope. In mathematical evaluations, literature information about the definitions and mathematical formulas of geometric structures was evaluated [12],[13], [14], [15], [16], [17]. In addition, the structures of the geometric models obtained from these definitions were shown with figures (Figure 1-5).

3. Conclusion and Discussion

In our study, we observed that the microscopic structures of raphide crystals, which we observed in the sections we took

from the leaves of the plant samples, did not have an ordinary shape, but showed prismatic features. It was determined that the prismatic structures of some of them had structures defined as "elongated triangular bipyramid" in geometry (Figure 1,2). The elongated triangular bipyramid is one of the Johnson solids (J_{14}), one of the important definitions in geometry. In geometry, a Johnson solid is a convex polyhedron with a regular polygon on each side. It is not necessary for every face to be the same polygon or for the same polygons to converge around every vertex. The Johnson solid is one of 92 convex polyhedra. These polyhedra were named by Norman Johnson, who first listed them in 1966 [18]. This study determined that the microscopic structures of raphid crystals have Johnson solid geometric structure. The Johnson solid symmetry group is dihedral. In mathematics, a dihedral group is a set of symmetries of a regular polygon, including rotations and reflections.

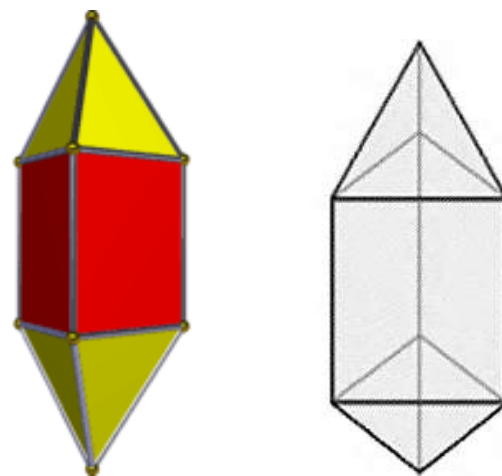


Fig. 1 Geometric model diagram of Elongated triangular bipyramid [18].

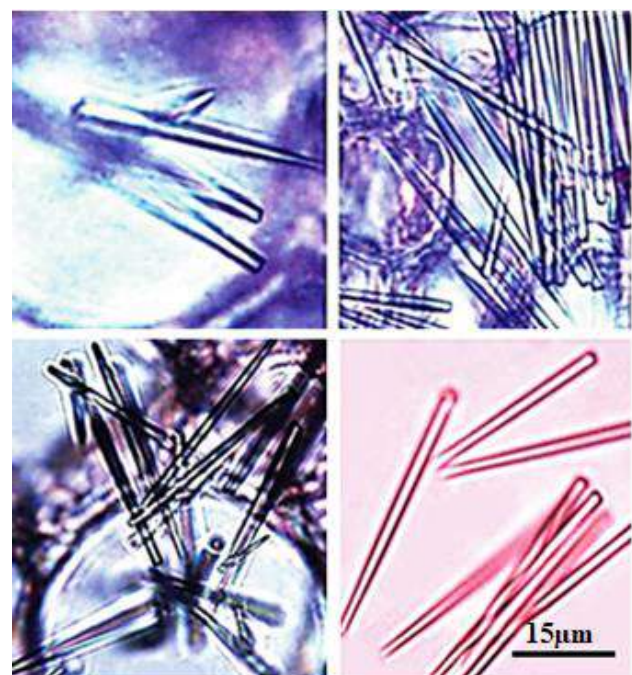


Fig. 2 Light microscope images of raphide crystals in the examined plant (*Scilla luciliae*, *S. forbesii*, *S.sardensis*) parts.

For the symmetry group of a regular polygon; Provided that all surfaces are regular and have side length a , the following formulas can be used by taking the volume (V), surface area (A) and height (H):

$$V = \left(\frac{1}{12} (2\sqrt{2} + 3\sqrt{3})\right) \cdot a^3 \approx 0.668715 \dots a^3$$

$$H = \frac{3 + 2\sqrt{6}}{3} \cdot a \approx 2.63299 \dots a$$

$$A = \left(\frac{3}{2} (2 + \sqrt{3})\right) \cdot a^2 \approx 5.59808 \dots a^2$$

At the same time, it has been observed that these prismatic crystals exhibit a minimal surface feature, which has an important place in geometry. Minimal surface; is the surface with the 'smallest area' on which we can fill a defined space given to us. Mathematically, the minimum surface can also be characterized as the surface of the minimum surface area for the given boundary conditions. On a minimal surface, the curvature along the major planes of curvature is equal and opposite at each point. This makes the mean curvature zero (Figure 3).

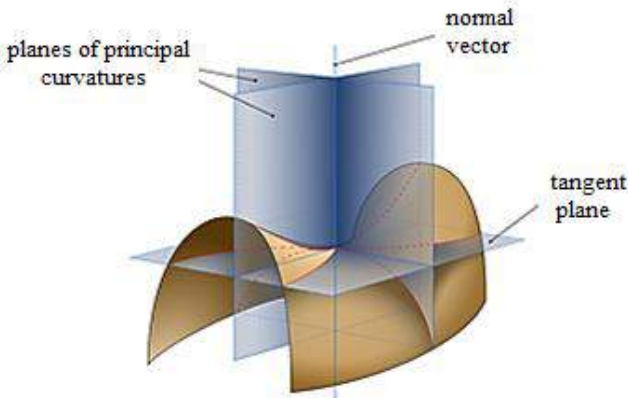


Fig. 3 The diagram of minimal surface.

A minimal surface can be represented by the triad of the analytic function as:

$$\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_{13}^2 + 0.$$

Then the actual parameterization

$$x_k = R \int \phi_k(\zeta) d(\zeta).$$

It is obtained as.

On the other hand, for an analytic function

f and a meromorphic function g , triple of functions

$$\phi_1(\zeta) = f(1 - g^2)$$

$$\phi_2(\zeta) = if(1 + g^2)$$

$$\phi_3(\zeta) = 2fg$$

f is analytical as long as it has $\geq m$ of order zero at each pole of g of order m . This result gives us a minimal surface in terms of Enneper-Weierstrass parameters.

Meusnier found that a plane is an insignificant minimal surface, and the first examples of minimal surfaces were catenoid and helicoid geometric structures in 1776 [19].

We observed that some vascular tissue elements have a spiral structure in the plant samples that we examined the vascular tissues. We also observed that these elements are structures whose definitions can be found in geometry. We have determined that they structure that can be defined is "the helicoid minimal surface" in geometry (Figures 4, 5).

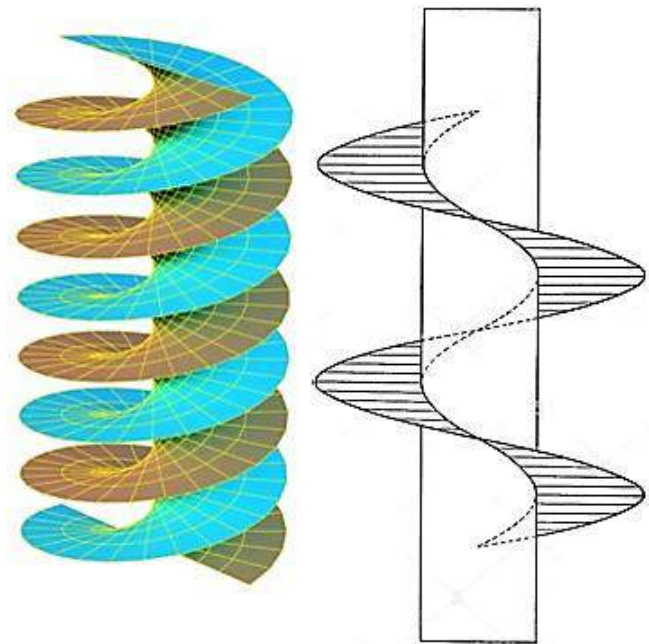


Fig. 4. Geometric structure diagram of the helicoid model. (<http://www.indiana.edu/minimal/archive/Classical/Classical/Helicoid/web/index.htm>)

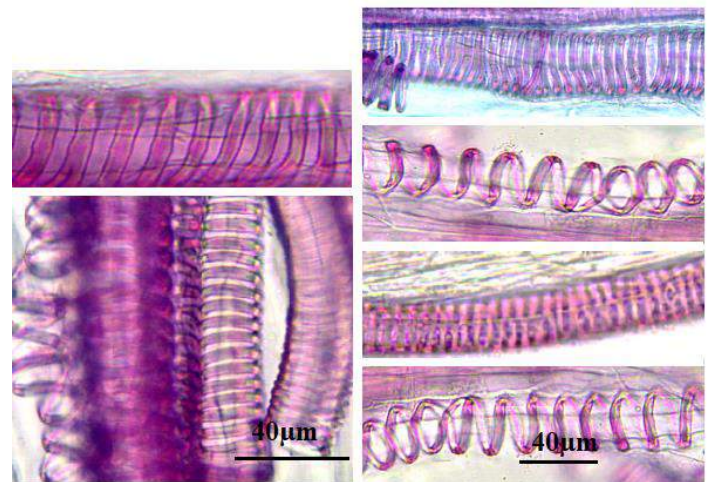


Fig. 5 Helicoid structures of vascular tissue elements in plant parts examined under the light microscope.

The helicoid is the third known minimal surface after the plane and the catenoid. It was described by Euler in 1774 and by Jean Baptiste Meusnier in 1776 [19]. It gets its name from the similarity of the helix: for every point on the helix, there is a helix passing through that point inside the helix. Helicoid is also a striated surface (and a right conoid), meaning it is a trace of a line. Alternatively, for any point on the surface there is a line running through the surface.

Helicoid and catenoid are parts of a helix-catenoid minimal surface family. A spiral is also a translational surface in the differential geometry sense. It is shaped like a helicoid Archimedean screw, but extends infinitely in all directions. The helicoid can be defined in cartesian coordinates with the following parametric equations (Figure 4).

$$\begin{aligned}x &= \rho \cos(\alpha\theta), \\y &= \rho \sin(\alpha\theta), \\z &= \theta,\end{aligned}$$

Here ρ and θ vary from minus infinity to plus infinity, while α is a constant. If α is positive, the helicoid is right-handed; if it is negative, it is left-sided [19].

As a result of this study, it has been seen that some of the micromorphological shape definitions of the plants we examined have the features that are found in geometry and are defined by parametric equations. It was determined in the study that plant crystals and vascular tissue elements can be defined as geometric minimal surfaces, and they also have elongated triangular bipyramid and helicoid geometric metals. The minimal surface is the "smallest area" surface on which we can fill a defined space. Minimal surfaces are powerful formations that not only reduce their space but also maintain their physical durability.

The first geometric studies on the microscopic structures of plants were made with regularly arranged epidermis cells. In the study, numerical evaluation of the sequences of these cells was made [20].

Researchers, who made microscopic studies with the roots of some geophyte taxa, found results similar to the results of our study with stems and leaves. Researchers have observed raphid crystals with geometric patterns in their studies [8]. In another study, researchers observed druse crystals, unlike our study, in their microscopic studies on the stems of different taxa.

They found that these crystals have a minimal surface, similar to our study. However, while we observed in our study that raphide crystals have an elongated triangular bipyramid geometric pattern, the researchers found that druse crystals have a great stellated dodecahedron geometric shape [21].

In the microscopic structures of the leaves and stems of the plant specimens we examined in our study, raphide-shaped plant crystals were detected, being more concentrated in the leaf.

It has been observed that the shapes of these crystals are not ordinary, they correspond to special definitions in geometry and are expressed by formulas.

On the other, it has been observed that the shapes of some xylem elements, which consist of a spiral structure, have geometric patterns in the stem and leaf anatomy of the same plant specimens. Similar results were obtained in some studies on different plant samples and plant parts. [8], [9].

Considering the complexity of the tasks of these plant parts with these unusual special geometric shapes, it becomes clear how important the contributions of their geometric structures are.

With this study, it was provided to examine the micromorphological structures of plants from a different perspective. In the literature, there are studies defined with the help of geometric models and mathematical formulas. However, these studies are mostly on visible structures. In our studies, we tried to describe microscopic structures with geometric models. We think that our study will bring a different perspective for future researchers.

References

1. Franceschi V.r., H.T., Horner. *Calcium oxalate crystals in plants*. Botany Review, 1980. 46: 361–427.
2. Vincent R.F., P. Aul. *Calcium oxalate in plants: formation and function*. Annual Review of Plant Biology, 2005. 56: 41–71.
3. Bouro P.N., S. Weiner, I. Addadi. *Calcium oxalate crystals in tomato and tobacco plants: Morphology and in vitro interactions of crystal associated macromolecules*. Chemistry European Journal, 2001. 7(9): 1881–1888.
4. Fukuda, H. *Tracheary Element formation as a Model System of Cell Differentiation*. Inter. Rev. Cytol. 1992. 136,289-332.
5. Hofte, H. (2010) Plant Cell Biology: How to Pattern a Wall. Curr. Biol. 20(10), 450-2.
6. Devillard, C.and Walter, C. (2014) Formation of Plant Tracheary Elements in Vitro — A Review. NZ. J. For Sci. 44, 1-14.
7. Oppenheimer, P.E. Real Time Design and Animation of Fractal Plants and Trees. Sig- graph, 20, 55-64. <https://doi.org/10.1145/15886.15892>. 1986.
8. Kaitaniemia, J., S. Hananb, and P.M. Room. *Virtual Sorghum: Visualisation of Partitioing and Morphogenesis*. Computers and Electronics in Agriculture. 2000. 28, 195—205.
9. Ozdemir, A. *Geometric Model of Microscopic Raphide Crystals In Plant*. Botanica. 2021. 27, (1): 62-68.
10. Ozdemir, A. *Definiation of annular Type Tracheal Elements of Chard and Numerical Comparision*. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University. 2018. 35, (3): 227-230.
11. Bozdag, B., O. Kocabas, Y. Akyol, and C.Ozdemir. *New Staining Method For Hand-Cut In Plant Anatomy Studies*. Marmara Pharm J. 2016 .20,184-190.
12. William, H.M. and P.Joaquin. *The classical Theory of Minimal Surfaces*. Bull. Amer. Math. Soc. 2011. 48(3), 325—407.
13. Gray, A. "Minimal Surfaces" and "Minimal Surfaces and Complex Variables." Ch. 30 and 31 in Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica, 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 681-734. 1997.

13. Lagrange, J.L. *Trial of a new method to determine the maxima and minima of indefinite integral formulas.* Miscellanea Taurinensia 2, 1760. 325(1), 173-199. (in French).
14. Weisstein, E.W. Catenoid. From Math-World-A Wolfram Web Resource. <https://math-world.wolfram.com/Catenoid.html>. 2017.
15. Fomenko, A.T. and A.A. Tuzhilin. *Elements of the Geometry and Topology of Minimal Surfaces in Three-dimensional Space.* AMS Bookstore Press, ISBN 978-0-8218-4552-3. 1991.
16. Hoffman, D. and H.M. William. *The Global Theory of Properly Embedded Minimal Surfaces.* Pacific J. of Math. 1987. 128,361—366.
17. Johnson N.W. *Convex solids with regular faces.* Canadian Journal of Mathematics, 1966. 18: 169–200.
18. Meusnier, J.B. *Memory on the curvature of surfaces.* Mem. of foreign scholars. 1776. 10, 477-510. (in French).
19. Hoffman D.: *The computer-aided discovery of new embedded minimal surfaces.* Mathematical Intelligencer. 19879. 8–21.
20. Robert Br., W. Korn, R. M. Spalding, *The Geometry of Plant Epidermal Cells.* New Phytol. 1973. 72, 1357-1365.
21. Ozdemir, A. C. Özdemir. *Geometric definition of druse crystal in plant cells.* J. Indian bot. 2021. 101 (1&2) 146-151.



Hydraulic Models for Calculating Head Loss in Water Distribution System: a case study in Konya

Kağan Eryürük^{1*}

^{1*} Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3993-839X), kaganeryuruk@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996991)

ATIF/REFERENCE: Eryürük, K. (2021). Hydraulic Models for Calculating Head Loss in Water Distribution System: a case study in Konya. *European Journal of Science and Technology*, (28), 275-279.

Abstract

The management of the water supply system becomes crucial day by day because of limited natural water sources and rapidly increasing population all over the world. However, the water distribution systems have various technical problems and the energy loss in the system can be counted one of these problems. In this study, the water distribution system of a designated area in the Yaka district of Konya was examined using Hardy-Cross method and, the hydraulic simulation softwares EPANET, and WaterCAD which are used in hydraulic modeling of the water distribution systems frequently. The same data of designated area were used for EPANET and WaterCAD in the study. The calculations demonstrated that the head loss calculated in EPANET is 3.5% and %16.2 lower than that calculated by WaterCAD and Hardy-Cross, respectively when PVC pipes were used in the water network. When polyethelene pipes were used in the water network, the head loss calculated in EPANET is 3.8% and %26.6 lower than that calculated by WaterCAD and Hardy-Cross, respectively. In the case of choosing WaterCAD and Hardy-Cross as the model for water distribution system, the project cost would increase slightly due to increasing the diameter of the pipes for reducing the head loss. It can be concluded that by comparing the head losses, EPANET is more efficient than WaterCAD and Hardy-Cross.

Keywords: EPANET, Hardy-Cross, Model, WaterCAD, Water distribution system.

Su Dağıtım Sisteminde Yük Kaybını Hesaplamak için Hidrolik Modeller: Konya'da bir örnek çalışma

Öz

Sınırlı doğal su kaynakları ve tüm dünyada hızla artan nüfus nedeniyle su temin sisteminin yönetimi her geçen gün önemli hale gelmektedir. Ancak su dağıtım sistemlerinin çeşitli teknik sorunları vardır ve sistemdeki enerji kaybı bu sorunlardan biri sayılabilir. Bu çalışmada, Konya ili Yaka ilçesinde belirlenmiş bir alanın su dağıtım sistemi Hardy-Cross yöntemi ve su dağıtım sistemlerinin hidrolik modellemesinde sıklıkla kullanılan hidrolik simülasyon yazılımları EPANET ve WaterCAD kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada EPANET ve WaterCAD için belirlenen alanın aynı verileri kullanılmıştır. Hesaplamalar, EPANET'te hesaplanan yük kaybının, su şebekesinde PVC borular kullanıldığında sırasıyla WaterCAD ve Hardy-Cross tarafından hesaplanandan %3,5 ve %16,2 daha düşük olduğunu göstermiştir. Su şebekesinde polietilen borular kullanıldığında, EPANET'te hesaplanan yük kaybı WaterCAD ve Hardy-Cross tarafından hesaplanandan sırasıyla %3,8 ve %26,6 daha düşük olarak bulunmuştur. Su dağıtım sistemi için model olarak WaterCAD ve Hardy-Cross seçilmesi durumunda, yük kaybını azaltmak için boru çapının artırılması gerektiğinden proje maliyeti bir miktar artacaktır. Yük kayıpları karşılaştırıldığında, EPANET'in WaterCAD ve Hardy-Cross'tan daha verimli olduğu sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler: EPANET, Hardy-Cross, Model, WaterCAD, Su dağıtım sistemi.

* Corresponding Author: kaganeryuruk@gmail.com

1. Introduction

Providing the appropriate quality water sufficiently is one of the crucial issues in human history because of the importance of water to the life. Hence, the water distribution systems were built to achieve this aim. However, design of a water distribution system has many technical problems. Therefore, recently, an increasing number of hydraulic models to describe water distribution systems have been reported by many researchers to improve the performance of these infrastructures [1-3].

Many small- scale water supply projects in Turkey are made using the dead end method in water distribution systems by Iller Bankasi. However, there are some other methods for modeling water distribution systems to compare the energy loss. One of these methods is Hardy-Cross method that is applicable to closed-loop pipe networks. In this method, an iterative procedure is used to calculate the energy loss in the water distribution system. Topacik and San have studied the comparison of equivalent pipe and Hardy-Cross methods [4] and Lopes has developed a program for designing the water distribution system using the Hardy-Cross method [5]. Furthermore, especially, energy loss in water distribution system can be calculated using softwares by modeling and comparing the head loss for each system. One of these softwares is WaterCAD that is developed by Bentley Systems, Incorporated, Exton, PA, United States. The gradient algorithm is used in WaterCAD and particular energy equations and nodal equations are taken consideration for each pipes and nodes for both heads of nodal and pipe flow [6]. In WaterCAD, moduls like Darwin Calibrator, Darwin Designer, Skelebrator and SCADAConnect helps users to make the project more specific and presents special solution ways.

Recently, WaterCAD was used by researchers to plan and evaluate the performance of water distribution system and to model the formation of the chemicals in the system [7-10]. Another method for modeling the water distribution systems is EPANET software which is open-structured and developed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). In EPANET software, the head loss equations are based on Newton-Raphson iteration method to solve the simultaneous equations which are derived from the flow and head loss in the water distribution system. Some researchers were used EPANET to model the water distribution system, to reduce the energy cost, to optimize the leakage and calibrate the water distribution system, and to model the residuals of chemicals in water networks [11-15].

In this study, it has been studied to compare the head losses in the water distribution system using Hardy-Cross method and different hydraulic models to operate the water distribution system more efficiently and at lower cost by achieving minimum head loss.

2. Material and Method

A region, which covers an area of 45000 m² is located in Yaka Neighborhood of Meram district of Konya, Turkey, was selected for hydraulic modeling (Fig. 1). The elevations in the chosen region vary between 1167 m and 1106 m. The water demand of the region, which was calculated as daily and hourly by taking into consideration of population of the chosen region, is met from a 5000 m³ reservoir.



Figure 1. Satellite image of the region

Table 1 indicates the data used in this study. The data was provided from Metropolitan Municipality of Konya. MS Excel was used for the calculations of the modeling the water distribution system using the Hardy-Cross method. Hardy-Cross method consists of predicting the flow rates in each pipe of the network and then correcting the estimated flow rates until the pressures are balanced.

The same data was also used for calculations in EPANET and WaterCAD as shown in Table 1.

Table 1. The data of the chosen region

Given names of pipes and numbers	Length of the pipe (m)	Diameter of the pipe	Material of pipe
T – A (0)	105	200	PVC-Polyethylene
A – B (1)	142.5	100	PVC-Polyethylene
C – D (2)	116	80	PVC-Polyethylene
E – F (3)	213	80	PVC-Polyethylene
G – H (4)	138	80	PVC-Polyethylene
I – J (5)	122	80	PVC-Polyethylene
A – C (6)	57	150	PVC-Polyethylene
B – D (7)	91	80	PVC-Polyethylene
C – E (8)	77.5	150	PVC-Polyethylene
D – F (9)	125	80	PVC-Polyethylene
E – G (10)	40.5	150	PVC-Polyethylene
F – H (11)	43	80	PVC-Polyethylene
G – I (12)	72	150	PVC-Polyethylene
H – J (13)	55	80	PVC-Polyethylene

Two types of pipes, which were PVC and polyethylene, were used in the study. The number and the length of the pipes were 14 and 1397.5 m, respectively. In EPANET, initially, the tank and nodes were located in the working area depending on their coordinates and ground elevations. Then, the pipes were placed in accordance with the network in the region and their properties were entered (diameter, roughness coefficient). Hourly water consumption data calculated according to population were given to the nodes and hydraulic simulation was run (Fig. 2). The energy loss in polyethylene pipe was also calculated for both methods.

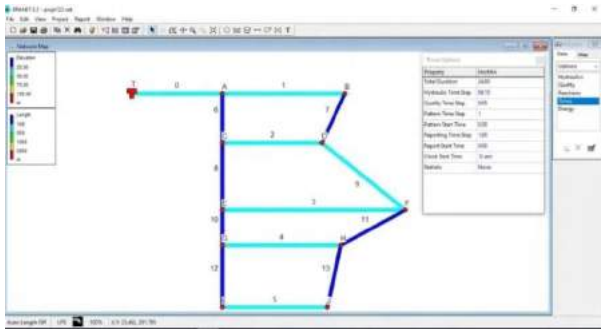


Figure 2. Image of EPANET software

In WaterCAD, first, the tank and the nodes were placed accordance to their coordinates and ground elevations in chosen area as designated previously. Then, the pipes were located in the network. The diameters of the pipes were introduced to the software and the roughness coefficient was determined by software depending on material type of the pipes. The water consumption data was introduced to the nodes and hydraulic simulation was run (Fig. 3). The simulation was run over a period of 24 hours. Adjustments were made to update hydraulic data every fifteen minutes by software

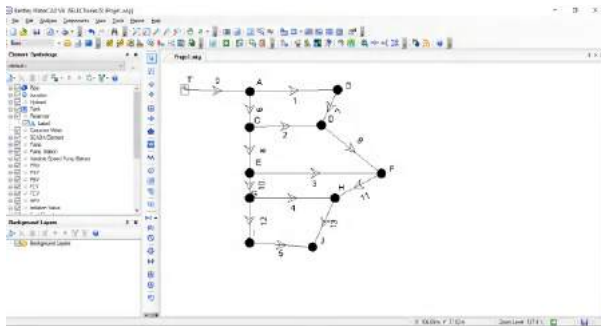


Figure 3. Image of WaterCAD software

All calculations were carried out using Darcy Weisbach equation. Friction factor (f) is used to calculate the friction head loss (h_f) in Darcy Weisbach equation [16]. The friction head loss was identified as below [16];

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (1)$$

where $D = 4A/P$ denotes the hydraulic diameter of the pipe (A and P denote cross-sectional area and wetted perimeter, respectively), L denotes the length of the pipe, V denotes average flow velocity, and g denotes the acceleration due to gravity.

The head loss in PVC pipe and polyethylene pipe were calculated for all methods.

3. Results and Discussion

Comparison of the head losses in the water distribution system of a designated area was performed using Hardy-Cross method and different hydraulic models in this study.

The results indicated that the head loss in each PVC pipe differed depending on the model used (Figure 4).

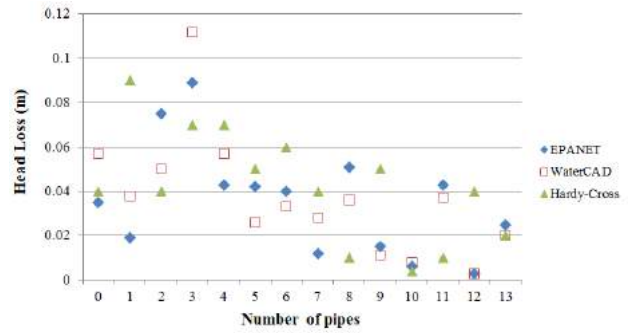


Figure 4. Head loss in each PVC pipe

The total head loss for chosen region using PVC pipes was calculated as 0.498 m, 0.516 m, and 0.594 m for EPANET, WaterCAD, and Hardy-Cross respectively (Figure 5). In other words, the total head loss was obtained 3.5% and %16.2 less in EPANET than in WaterCAD, Hardy-Cross, respectively. It could be said that the lowest head loss was achieved using EPANET.

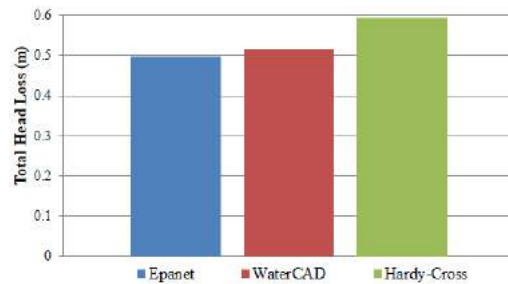


Figure 5. Total head loss for each model for PVC pipes

When polyethylene pipes were used in the water distribution system, the head loss for each pipe in EPANET and WaterCAD was calculated similar (Figure 6).

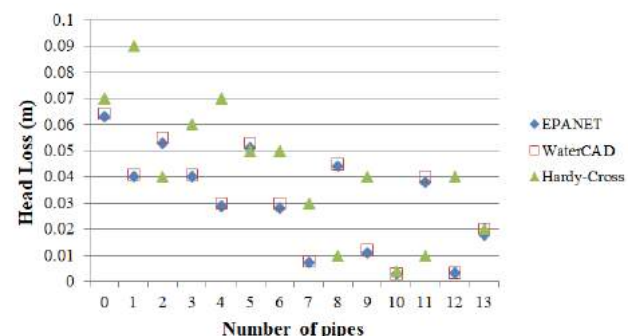


Figure 6. Head loss in each polyethylene pipe

The total head loss was 0.429 m, 0.445 m, and 0.584 m for EPANET, WaterCAD, and Hardy-Cross respectively (Figure 7). The total head loss was obtained 3.8% and %26.6 less in EPANET than in WaterCAD, Hardy-Cross, respectively.

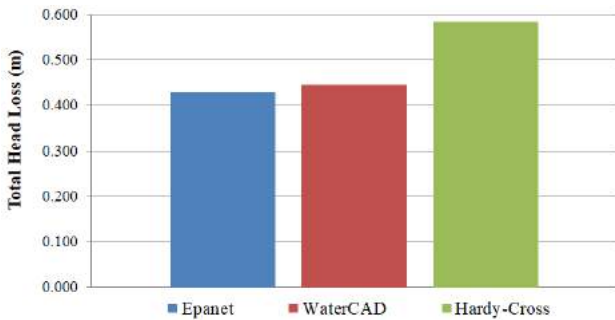


Figure 7. Total head loss for each model for polyethylene pipes

It is observed that the total head loss decreased 13.9% in EPANET, 13.8% in WaterCAD, 1.7% in Hardy-Cross when the polyethylene pipes were used instead of PVC pipes (Figure 8).

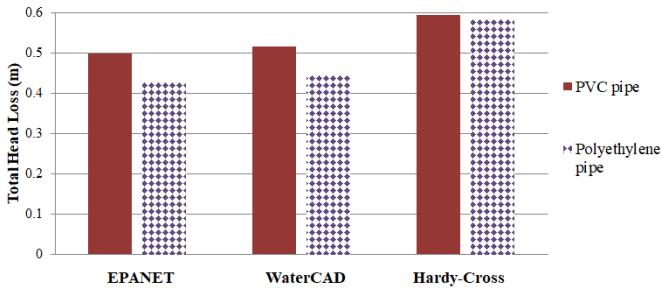


Figure 8. The change in total head loss depending on pipe material for models

The lowest head loss was obtained using EPANET with polyethylene pipes used in water distribution system (Figure 8).

The changes in head loss depending on each model were obtained in this study. A number of pipes in the system could be inadequate that cause very high velocities at some points in the system where nodal demands were high. This situation would be result in huge pipe leakages and bursts in the distribution system. Hence, the system performance would be reduced.

Moreover, inadequate reservoir height could be one of the reasons for difference head loss values between modes to give rise to negative pressures within the distribution system.

4. Conclusions and Recommendations

The head loss in water distribution system in a designated area was modeled using EPANET, WaterCAD, and Hardy-Cross in this study. In the lights of results, considering the head loss, it can be said that a water distribution system modeled with EPANET will work more efficiently and can be operated at a lower cost. Moreover, EPANET is free software, so this is also an advantage for the users.

If the same water distribution system is modeled with WaterCAD and the head loss is desired to be at the same level, the diameter of pipes would be increased in order to reduce the energy loss and the cost of the water distribution system would increase.

Using Hardy-Cross method to calculate head loss in the water distribution system will result in the highest head loss and in turn the cost of the system would be the highest one. It can also be said that choosing polyethylene pipes instead of PVC pipes will reduce the cost because polyethylene pipes cause lower head loss comparing to PVC pipes.

References

- [1] Adnan M. Abu-Mahfouz , Yskandar Hamam, Philip R. Page, Kazeem B. Adedeji, Amos O. Anele and Ezio Todini. Real-Time Dynamic Hydraulic Model of Water Distribution Networks, Water, vol. 11, no: 3, article no. 470, 2019.
- [2] Orazio Giustolisi. Enhanced WDN hydraulic modelling detection of burst leakages, Procedia Engineering, vol. 162, pp. 3-14, 2016.
- [3] Selami Kara, I. Ethem Karadirek, Ayse Muhammetoglu, Habib Muhammetoglu. Hydraulic modeling of a water distribution network in a tourism area with highly varying characteristics, Procedia Engineering, vol. 162, pp. 521-529, 2016.
- [4] Topacık, D. ve San, H.A. Hardy-Cross ve Eşdeğer boru metotları mukayesesi, DSİ Bülteni, Sayı 58, 1985.
- [5] Lopes, A.M.G. Implimentation of the Hardy-Cross Method for the Solution of Piping Networks. Computer Application in Engineering Education. Wiley Periodicals, vol. 12, pp. 117-125, 2004.
- [6] Izinyon, O.C., Anyata, B.U., Water Distribution Network Modelling of A Small Community Using Watercad Simulator, Global Journal of Engineering Research, vol. 10, no. 1-2, pp. 35-47, 2011.
- [7] Septiawati, E., Sutriyono, E., Juliantina, I., Siswanto, A., Evaluation of Design Planning Water Distribution System with Watercad v.7.0 Simulation Program for Townsite Basecamp Settlement Relocation in Tanjung Enim, South Sumatra, Symposium of Emerging Nuclear Technology and Engineering Novelty (Senten 2018), vol. 1198, article no. 082022, 2019.
- [8] Agunwamba, J.C., Ekwule, O.R., Nnaji, C.C., Performance evaluation of a municipal water distribution system using WaterCAD and Epanet, Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development, vol. 8, no. 3, pp. 459-467, 2018.
- [9] Farghaly, A.M., Ahmed, A.M., Gad, A.A., Hashem, M.A., A study for producing drinking water with safe trihalomethane concentrations, Clean Technologies and Environmental Policy, vol. 16, no. 5, pp. 808-818, 2014.
- [10] Chang, E.E., Guo, H.C., Li, I.S., Chiang, P.C., Huang, C.P., Modeling the formation and assessing the risk of disinfection by-products in water distribution systems, Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, vol. 45, no. 10, pp. 1185-1194, 2010.
- [11] Maskit, M., Otsfeld, A., Multi-Objective Operation-Leakage Optimization and Calibration of Water Distribution Systems, Water, vol. 13, no. 11, article no. 1606, 2021.
- [12] Babel, M.S., Shrestha, A., Anusart, K., Shinde, V., Evaluating the potential for conserving water and energy in

- the water supply system of Bangkok, *Sustainable Cities and Society*, vol. 69, article no. 102857, 2021.
- [13] Wang, Y., Yok, K.T., Wu, W.Y., Simpson, A.R., Weyer, E., Manzie, C., Minimizing Pumping Energy Cost in Real-Time Operations of Water Distribution Systems Using Economic Model Predictive Control, *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 147, no. 11, article no. 102857, 2021.
- [14] Garcia-Avila, F., Aviles-Anazco, A., Ordonez-Jara, J., Guanuchi-Quezada, C., del Pino, L.F., Ramos-Fernandez, L., Modeling of residual chlorine in a drinking water network in times of pandemic of the SARS-CoV-2 (COVID-19), *Sustainable Environment Research*, vol. 3, no.1, article no. 12, 2021.
- [15] Monteiro, L., Carneiro, J., Covas, D.I.C., Modelling chlorine wall decay in a full-scale water supply system, *Urban Water Journal*, vol. 17, no.8, pp. 754-762, 2019.
- [16] Monteiro, L., Carneiro, J., Covas, D.I.C., Experimental and Numerical Determination of the Head Loss of a Pressure Driven Flow through an Unlined Rock-Blasted Tunnel, *Water*, vol. 20, no.12, article no. 3492, 2020.



A Novel Method of Analyzing a Reaction Using the Data from Particle and Gamma-ray Detectors

Ilker Can Celik^{1*}

^{1*} Harran University, Faculty of Art and Science, Department of Physics, Sanlıurfa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2320-6584), ilkercan0066@harran.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.997947)

ATIF/REFERENCE: Celik, I. C. (2021). A Novel Method of Analyzing a Reaction Using the Data from Particle and Gamma-ray Detectors. *European Journal of Science and Technology*, (28), 280-284.

Abstract

The radioactive isotope beam (RIB) of ²⁵Na at 5MeV/u energy in maximum 3×10^7 pps intensity was fired on a deuterated polyethylene (CD₂) to investigate mainly (d,p gamma) reaction. However, there were other reaction possibilities, which were arisen from the same collision, to be eliminated wisely. As to a particle detector and a gamma-ray detector, highly selective double-sided silicon strip detectors (DSSSD) and high purity germanium detectors (HPGe) were employed to make delicate selections of distinctive energies of experimentally populated excited states of ²⁶Na. The motivation of this work was to show how to combine the information coming out of two different types of detectors in terms of energies to reach out a new unobserved data. This study was a part of the experiment with Silicon Highly-segmented Array for Reactions of Coulex (SHARC) and TRIUMF-ISAC Gamma-ray Escape-Suppressed Spectrometry (TIGRESS) in Canada.

Keywords: RIB, SHARC, TIGRESS, ²⁶Na, reaction

Parçacık ve Gama Işını Dedektörlerini Kullanarak Bir Reaksiyonu Analiz Etmenin Farklı Bir Yöntemi

Öz

²⁵Na içeren radyoaktif izotop ışını, 5MeV/akb enerjide ve maksimum saniyede 3×10^7 parçacık içerecek şekilde deuterated polyethylene (CD₂) hedef üzerine (d,p gama) reaksiyonunu araştırmak üzere gönderilmiştir. Buna rağmen, aynı çarpışmadan kaynaklanan farklı reaksiyon türleri olabileceği için, bunların dikkatlice ayrıştırılması gereklidir. Parçacık ve gama ışını dedektörü olarak, çift taraflı şeridi olan silikon dedektörleri ve yüksek saflıkta germanyum dedektörleri kullanılarak, ²⁶Na çekirdeğinin farklı enerjilerdeki durumları elde edilmiştir. Bu çalışmanın motivasyonu ise, farklı tipteki dedektörlerden gelen bilgileri birleştirerek, daha önceden gözlenmemiş yeni verilere nasıl ulaşılabileceğini göstermekti. Bu çalışma, SHARC ve TIGRESS dedektörlerinin bulunduğu Kanada'da yapılan deneyin bir parçasıdır.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktif izotop ışını, SHARC, TIGRESS, ²⁶Na, reaksiyon.

* Corresponding Author: ilkercan0066@harran.edu.tr

1. Introduction

In this work, the ^{26}Na was populated by neutron transfer reaction of $^{25}\text{Na}(d,p\gamma)$; however, it had been produced before in many forms of other reactions. Not all, but some reported reaction types were in the structure of $^{26}\text{Ne}(\beta\text{-decay})$ (Weissman, 2004), $^{26}\text{Mg}(t, ^3\text{He})$ (Flynn & Garret, 1974), $^{26}\text{Mg}(^{11}\text{B}, ^{11}\text{C})$ (Scott et al., 1974), $^{14}\text{C}(^{14}\text{C}, d\gamma)$ (Lee et al., 2016), $^{26}\text{Ne}(d, 2n\gamma)$ (Obertelli et al., 2006), $^{26}\text{Mg}(n, p)$ (AIP Conference Proceedings, 1986), and $^{26}\text{Mg}(^7\text{Li}, ^7\text{Be})$ (Ball et al., 1972). All these reactions have

something in common. Both particles and γ -rays played an imported role in these reactions. They helped to populate and to depopulate a specific nucleus in different energies. This was one way to dissipate their residual excitation energy (E_{ex}). Therefore, not just the information of a particle data but also the γ -ray outcomes should be analyzed depending on the reaction. The participation of both helps to confirm the certain state of a nucleus in different perspectives. Also, the detected particle type gives a clue on the reaction type.

2. Materials and Methods

In this study, the beam of ^{25}Na was impinged on CD_2 target as a compound. In Fig. 1a, it was clear that the target didn't include solely Carbon and Deuterium, but it was contaminated with Hydrogen atom as well. To investigate what happened in the reaction, some theoretical lines overlapped with the data from scattered proton kinetic energy as seen in the Fig. 1a. Another aspect to notice on the Fig. 1a was the gaps in angle coverage below 36° , in the range of $82^\circ\text{-}95^\circ$, $142^\circ\text{-}147^\circ$, and above 173° for the full coverage from 0° to 180° in θ angle. Meanwhile, more details of the experiment and particle detector-set of SHARC (Celik, 2014; Wilson, 2012) and γ -ray detector clovers of TIGRESS (Celik, 2014; Wilson, 2012) can be found elsewhere. If the solid angle plots in Fig. 1b and 1c were also checked for the SHARC as used in the experiment, the reason of the gaps within some angles will be understood in a relation with the coverage of the particle detectors. Note that, this simulated solid angle calculations included broken strips during the detector as well.

Therefore, the angle match between Fig. 1a and 1b was self-explanatory. By knowing the reaction mechanism and details such as angle coverage, the number of particle detectors in need can be compensated due to the experiment budget as in the current study.

For instance, the number of detectors in upstream were more because the reaction of interest ($d,p\gamma$) occurred mostly in upstream side of the detector set-up. In addition, each double sided silicon stripped detector (DSSSD) had 48 back strips along the beam's direction as θ angle and 24 front strips along the circular φ angle which was around the DSSSD detectors. By having more strips along the beam direction rather than in φ angle, the aim was to maximize the angle coverage in the angle of the interest as seen in Fig. 1a. Additionally, the solid angle histogram helped to calculate the total detected particle counts. It was done by dividing detected particle-counts histogram into solid angle histogram within the same θ angle coverage from 0° to 180° . Another point to notice in Fig. 1a was that the theoretical (d,p) reaction lines lowered themselves as the excited energy increased. The populated energy of 5.38MeV, for example, was the lowest slope among the other (d,p) lines due to the minimum detectable (threshold) proton energy. Lastly, the Fig.1 could give the details of a possible angle gate information in the analysis depending on the detector's location. It was crucial to use beneficial gates in the analysis to filter the data.

Figure 2a shows the excitation energies as retrieved by the proton energy as detected by the SHARC detector versus the corresponding γ -ray energies as detected by the TIGRESS clovers. Besides, Fig. 2b indicates the possible explanation of seeing states above neutron threshold energy of ^{26}Na . After the $^{25}\text{Na}(d,p\gamma)^{26}\text{Na}$ reaction, ^{26}Na can emit a neutron to dissipate its surplus energy above the threshold. At that moment, there is a chance that excited states of ^{25}Na might be created. Since the 2D plot was constructed by the scattered proton energy, we might reach higher energies by adding the neutron separation energy of 5.574 MeV on the top of (d,d') inelastic scattering energies as shown in Fig. 2b. From Fig. 1a, it was known that (d,d') inelastic scattering event was existed. Finally, we can get the corresponding (d,p) inelastic scattering energies before neutron was departed from ^{26}Na as shown in the level scheme in Fig. 2b

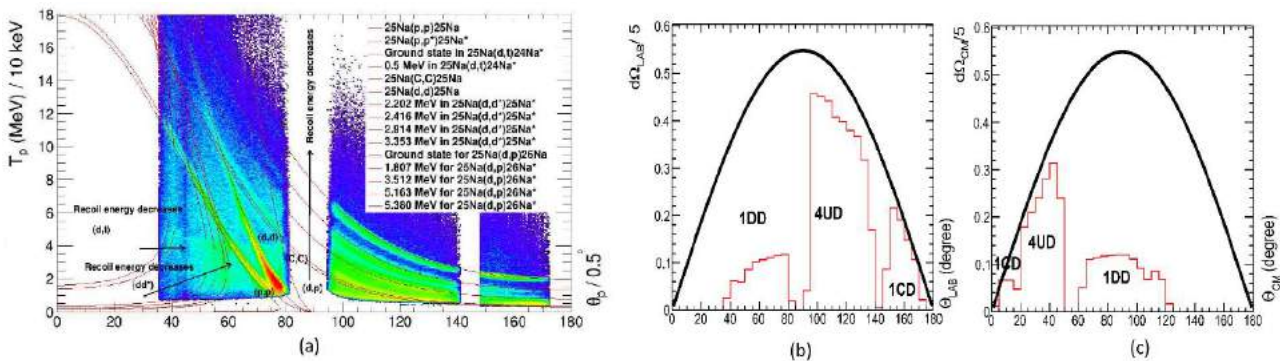


Figure 1: From the scattered and detected proton kinetic energies, re-evaluated excitation energies for various possible reaction scenarios were overlapped with the experimental data in $^{25}\text{Na}(d,p\gamma)^{26}\text{Na}$ in Fig. 1a. Additionally, Fig. 1b in laboratory frame (LAB) and Fig. 1c in centre of mass frame (CM) indicates the calculated solid angle coverage of the SHARC detector. Full coverage of solid line on figure b and c was fitted by the function of $d\Omega = \sin(\theta)d\theta d\varphi$. Whilst 1DD and 1CD stands for 1 downstream and 1 CD detector, 4UD represents 4 upstream detectors.

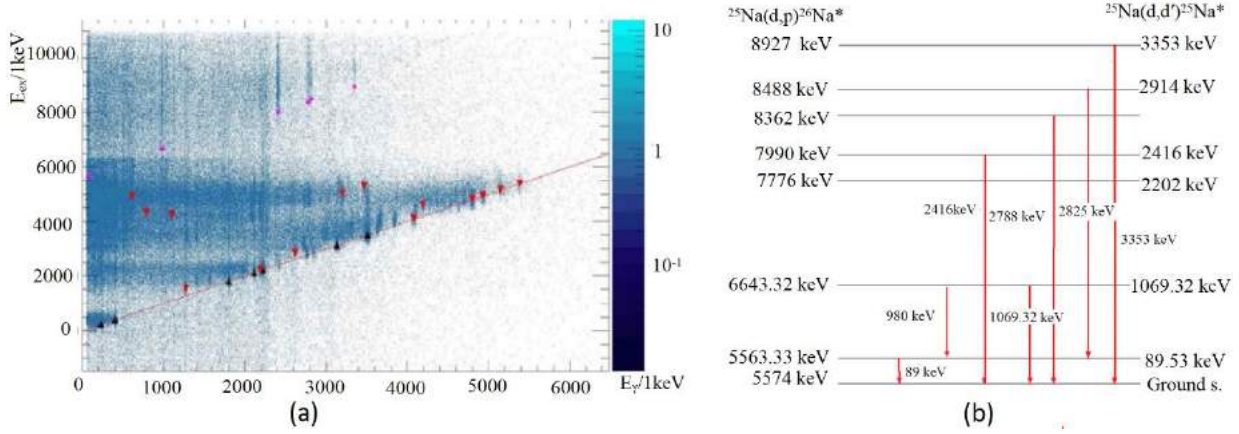


Figure 2: On the left figure, these color-coded dots show previously analyzed (Wilson, 2012) and updated version (Celik, 2014) of the analysis. Six purple dots above 5.574MeV show neutron separation energy threshold of ^{26}Na , so they don't represent (d,p) transfer reaction. Whilst the states to transfer directly to the ground state of ^{26}Na lie along the diagonal, other states with γ -ray cascades stay above the red line. On the right side, γ -ray level scheme of ^{26}Na and ^{25}Na was provided for a comparison (Celik, 2014; Krämer et al., 1971; Jänecke, 1973; Firestone, 2009).

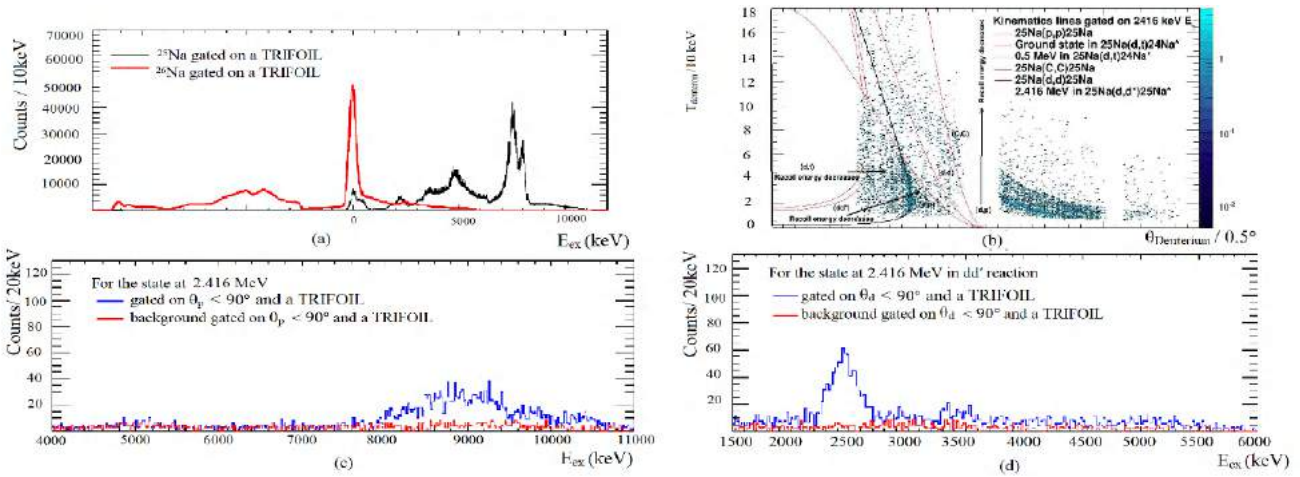


Figure 3: TRIFOIL was a zero-degree photomultiplier detector to reduce the noise and to select beam-like particles. Details can be found elsewhere (Wilson, 2012). Fig a shows E_{ex} spectrum of ^{25}Na in red and ^{26}Na in black. Detected deuteron kinetic energy versus its scattered θ angle is shown with some overlapping state energy lines. Corresponding E_{ex} energy of a γ -ray at 2416keV was shown in (d,p) and (d,d') related spectra in Fig. c and d here. Details this analysis can be found elsewhere (Celik, 2014).

The selectivity of the reaction can be proven to run the data as if there was a (d,d') interaction as shown in Fig. 3. Excitation spectra of ^{26}Na and ^{25}Na as mentioned in Fig. 2b can be shown on top left plot of Fig. 3. Corresponding scattered deuteron kinetic energy plot would also prove that there was also a reaction of (d,d') in the current experiment if selected. Furthermore, in Fig. 3c and 3d for a specific state at 2.416 MeV can be plotted for the (d,p) and (d,d') reactions. This specific state was so apparent on the distinct black line in Fig 3b. These detections were possible due to the silicon detectors. An example of an angle gate in Fig 3c and 3d can be seen here.

After checking on other reaction possibilities, a novel systematic method for searching new states and γ -rays in extensive cascades in the example of (d,p) reaction can be summarized in Fig. 4. The populated state at 2.225 MeV in ^{26}Na was chosen as an illustration here. After zooming, the closely positioned states at 2.116 MeV, 2.194 MeV and 2.225 MeV became more apparent in Fig. 4a. Among the three, 2.225 MeV will be analyzed by using the gate limits as marked in the Fig. 4a.

This rectangle marking gives a hint about the background noise subtraction. The length and width of this rectangle also reflects the resolution of the particle and γ detectors. Since the states adjacent to the state at 2.225 MeV was obvious on its left side, the right side of the rectangle was a predictable γ -ray gate area for the background subtraction. Additionally, Y axis projection of this rectangle will give the E_{ex} limits in Fig. 4b. Then, we can check other linked γ -rays to the state at 2.225 MeV by gating on this E_{ex} limits. That worked nicely in the analysis.

Another method was to scan γ -ray spectra by 500 keV of E_{ex} intervals. In this method, the intensities of the observable γ -ray peaks will sometimes either fade away or to raise up as a hint. Thus, the systematic behavior of γ -ray peaks for specific E_{ex} ranges will be noticeable. From this information, the linked γ -rays could be traceable. For instance, both the Fig. 4b and Fig. 4d tell us some higher laying excitation energy region will also decay via 2.225 MeV state via 2225 keV γ -ray in its cascade. Later, this information turned to be true for the state at 4.305 MeV in the analysis (Celik, 2014). To reverse the method for a double check,

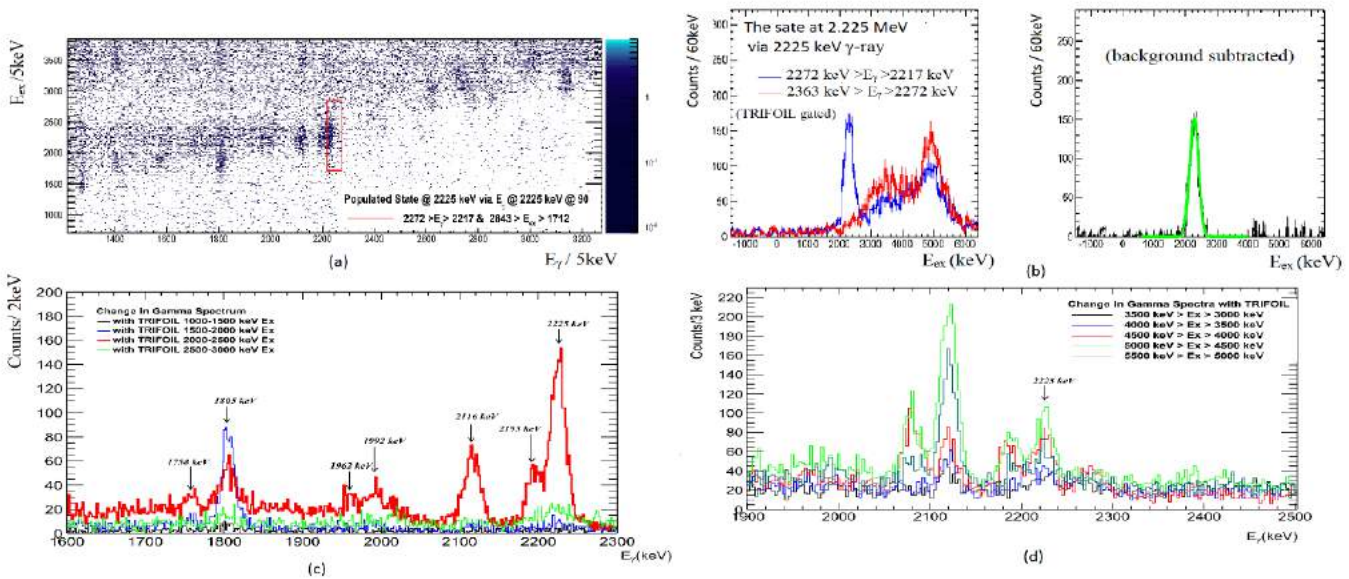


Figure 4: In Fig. a, the state at 2.225 MeV was marked in E_{ex} versus E_{γ} plot for ^{26}Na in the reaction of $^{25}\text{Na}(d,\gamma)^{26}\text{Na}$. This marked area was used to lead the investigation of E_{ex} and E_{γ} spectra as seen in Fig b, c and d (Catford et al., 2015).

the limit range of a γ -ray peak at 2225 keV as seen in Fig. 4c or the Fig. 4d can be used initially as a gate to plot E_{ex} spectrum in comparison to the Fig. 4b. They should be expected to be the same or similar in terms of limits. That also proved to be true in the analysis.

3. Conclusions and Comments

In conclusion, the different aspects of sample experiment and its set-up was mentioned here and used also in elsewhere (Celik et al., 2019a; Celik, 2019b) as a method. Emphasis was, this time, on the usage of both particle detector SHARC and γ -ray detector TIGRESS. It was proven that SHARC detector sought a help from high resolution TIGRESS detector due to its wide excitation energy resolution. With superior dissociation ability of γ -ray detectors, it was easier to work on overlapping peaks in the analysis. Analysis of this kind has mostly a great γ -ray level schemes as given in the article (Celik et al., 2019). To work out each level in such a γ -ray cascade, putting on small intervals of E_{ex} gates on E_{γ} spectra turned out to be the efficient way to see the behavior of γ -ray peaks for different E_{ex} regions. The combined power of both detector types enabled us to see, for instance, 26 experimentally observed states for this neutron transfer experiment as outlined in the article by Celik (Celik et al. 2019). In this study, it was intended to prove that the combination of particle- γ information of any kind in the analysis was such a power tool in these aspects.

4. Acknowledgement

The SHARC project with code S1107 was funded by the UK Science and Technology Facilities Council and was led by Wilton Catford and Christian Diget from the Universities of Surrey and York in the UK. Thanks to you all for the past years.

References

- AIP Conference Proceedings 150, 710 (1986); <https://doi.org/10.1063/1.36053>, np reaction studies
- Ball, G. C., Davies, W. G., Forster, J. S., & Hardy, J. C. (1972). Use of the ($^7\text{Li}, ^7\text{Be}$) reaction to measure the mass of ^{26}Na . *Physical Review Letters*, 28(16), 1069–1071. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.28.1497.4>
- Catford, W.N. et al. (2015). Structure of ^{26}Na via a novel technique using (d, γ) with a radioactive ^{25}Na beam. *Acta Physica Polonica B*, 46 (3). <https://doi.org/10.5506/APhysPolB.46.527>
- Celik, I. C. (2014). A particle- γ coincidence study of ^{26}Na using the transfer reaction $^{25}\text{Na}(d,p\gamma)^{26}\text{Na}$. (Ph.D thesis, University of Surrey, Guildford, 2014).
- Celik, I.C., Catford, W.N., Matta, A., Wilson, G.L. (Nov. 25, 2019a). The extended energy regime of ^{26}Na via transfer reaction in inverse kinematics. *AIP Conference Proceedings* 2178, 030054. <https://doi.org/10.1063/1.5135452>
- Celik, I.C. (Nov. 25, 2019b), "Gamma-ray angular distribution analysis of transfer reaction data for excited states of ^{26}Na . *AIP Conference Proceedings* 2178, 030055. <https://doi.org/10.1063/1.5135453>
- Firestone, R.B. (2009). *Nuclear Data Sheets* 110, p. 1691.
- Flynn, E.R. & Garret, J.D. $^{26}\text{Mg}(t, ^3\text{He})$ reaction and a spherical-shell-model description of ^{26}Na . *Phys. Rev. C*, 9 (1), January (1974). <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.9.210>
- Jänecke, J. (1973, April, 16). The reaction $^{26}\text{Mg}(d, \tau)^{25}\text{Na}$ and the structure of ^{25}Na . *Nuclear Physics A*, 204, 3, 497-515. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(73\)90390-4](https://doi.org/10.1016/0375-9474(73)90390-4)
- Krämer, E., Mairle, G. & Kaschl, G. (1971, April, 13). Proton pickup from the magnesium isotopes: $^{24,25,26}\text{Mg}(d,t)^{23,24,25}\text{Na}$. *Nuclear Physics A*, 165, 2, 353-383. [https://doi.org/10.1016/0375-9474\(71\)90765-2](https://doi.org/10.1016/0375-9474(71)90765-2)
- Lee, S. et al. (2006). Structure of ^{26}Na from the $^{14}\text{C}(^{14}\text{C},d)$ reaction. *Physical Review C*, 73(4). <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.73.044321>

- Obertelli, A. et al. (2006). γ spectroscopy of $^{25,27}\text{Ne}$ and $^{26,27}\text{Na}$.
Physical Review C, 74(6).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.74.064305>
- Scott, D. K. et al. (1974). Spectroscopy of exotic nuclei using heavy-ion transfer reactions. Physical Review Letters, 33(22), 1343–1346.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.33.1343>
- Weissman L. et al. (2004, November, 19). Beta decay of ^{26}Ne .
Phys. Rev. C, 70, 057306.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.70.057306>
- Wilson, G.L. (2012). Investigating the evolution of the nuclear magic numbers via single-neutron transfer populating ^{26}Na . (Ph.D thesis, University of Surrey, Guildford, 2012).



The Usage of ROOT in Analyzing Gamma-rays with Covell and Total Peak Area Methods

Ilker Can Celik^{1*}

^{1*} Harran University, Faculty of Art and Science, Department of Physics, Sanlıurfa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2320-6584), ilkercan0066@harran.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.997976)

ATIF/REFERENCE: Celik, I. C. (2021). The Usage of ROOT in Analyzing Gamma-rays with Covell and Total Peak Area Methods. *European Journal of Science and Technology*, (28), 285-289.

Abstract

ROOT is a framework for a physicist to save data, to access the data, to mine the data and to publish results in a graphical interface. As a gamma ray spectroscopist, one of the most useful features of it is to estimate and to calculate the integral of a peak area. When this is done, not always these peaks can be isolated easily. Also, the methods differ the results of the total counts under the peak areas. Regardless of the detector types, the written C++ codes for ROOT can be easily implemented and adjusted for any peak situation. As an example, Maestro, which is a multichannel analyzer (MCA) emulation software package, is one of the most common software for NaI detector type. However, the users of this package mostly do not know the details of its procedure to collect and integrate the total counts for each individual gamma-ray. For that reason, it will be useful to indicate the comparisons for an experimental data by using Covell and Total Peak Area (TPA) methods between ROOT and Maestro.

Keywords: ROOT, Maestro, Covell Method, Total Peak Area Method, C++ Codes

Covell ve Toplam Pik Alanı Methodlarıyla Gama Işınlarnın Analizleri Yapılırken ROOT Uygulamasının Kullanımı

Özet

ROOT, bir fizikçi için veri depolamak, veriye ulaşmak, veriyi araştırmak ve sonuçları grafiksel bir arayüzle ortaya koymaya yarayan bir çalışma alanıdır. Gama ışını spektroskopisi uzmanı olarak, ROOT uygulamasının en yararlı özelliklerinden biri, bir gama ışını pik alanını tahmin edebilmesi ve hesaplayabilmesidir. Bu işlem yapılırken, her zaman pikler kolaylıkla izole edilemezler. Ayrıca, seçilen yöntemle göre toplam pik alanı sonuçları da farklılık gösterecektir. Dedektör tipine bağlı olmaksızın, ROOT için yazılmış C++ kodları herhangi bir pik durumu için kolaylıkla uygulanabilmekte ve ayarlanabilmektedir. Örneğin, çok kanallı analizör örneği olan Maestro yazılım paketi, NaI dedektörleri için en çok kullanılan yazılımlardan biridir. Buna rağmen, bu yazılımın kullanıcıları her bir gama ışını sayım sayısının nasıl toplandığını ve hesaplandığını detaylı bir şekilde bilmemektedir. Bu yüzden, deneysel bir veri üzerinden Covell ve Toplam Pik Alanı metodlarının karşılaştırmasını ROOT ve Maestro arasında yapmak faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: ROOT, Maestro, Covell metodu, Toplam Pik Alanı metodu, C++ kodları.

* Corresponding Author: ilkercan0066@harran.edu.tr

1. Introduction

Before getting into any calculations, it is better to mention about statistics in counting of gamma-rays in specific. Statistics are unavoidable naturally occurring mathematical concept which nuclear physicists will encounter. In most laboratories, nuclear physicists mostly work on a radioactive substance that decays randomly. Moreover, this randomness provides a statistical approach by nature. Thus, all measurements can be just an estimate of a decay rate. In the simplest view, one detection requires a radioactive material, a detection system, a tool of counting, and a time period. After measuring the rate in the events, this can be related directly and proportionally to the number of atoms in the source to define the activity of a source. Despite these aspects, only the integration of peak area measurements (counts) will be calculated here. By doing so, relevant background subtraction and fitting methods will be presented respectively. The tools for investigation in this study were Maestro software calculations (A65-B32 Software's User's Manual, 2020), Covell method (Gilmore, 2008; Heydorn & Lada, 1972; Covell, 1959), Total Peak Area (TPA) method (Covell, 1959; Loska, 1987), and the ROOT coding via fittings.

2. Methodology and Analysis

Over the years, γ -ray spectroscopists have used some simple and complicated algorithms to integrate the peak areas under the peak of interest (POI). However, the Covell and TPA methods will be under investigation in this study. Their results will be compared with the MAESTRO software calculations and the result of ROOT fits. As an experimental data to apply those calculations and fits, 661keV γ -ray peak of ^{137}Cs and γ -ray peaks of ^{60}Co at 1173 keV and 1332 keV were used. For the analysis, the details of the point sources were irrelevant.

Around the world, NaI(Tl) detectors are one of the most common ones in university laboratories due to their affordable cost. These detectors use mostly Maestro-32 software on Windows with MCA emulators embedded in them. This MCA emulates, sorts and counts events in real time during any experiment. Their sorting relies on some properties of these events. For this study, the only detail we should know is that these events were grouped inside the bins which were shown as channels. The multichannel analysis of the event is called pulse-height analysis (PHA) whose signals are triggered every time when a detector has hit via γ -rays. The characteristic part of these heights or voltages seen on the systems is that they are proportional to the γ -ray energies. Thus, the hits will be categorized by their heights. The detection system has also analog to digital converter (ADC) which translates the analog signal to a digital representation in the channel number. Therefore, each channel corresponds to a pulse height or a voltage. MCA commits them into a memory as the distribution of pulses in ascending energy order while the pulses of γ -rays arrive to a detector. In the meantime, ADC channels also store similar signals, but not necessarily identical ones. This complete picture is, then, called spectrum. For the γ -ray count analysis, the data should be saved, for simplicity, as a spectrum with equal bin width. Additionally, this structure can be called histogram of interest. Specifically, the analyzed spectra will remain uncalibrated in terms of energy in this study. The methods of integrations for counting the γ -rays will

be given as following respectively: Maestro calculations, Covell and TPA method calculations, and ROOT fit results.

Figure 1a shows the representation of Maestro software's calculations. For the uncalibrated spectrum, software gives some information: the channel centroid, FWHM in channels, gross area, net area, and the net-area uncertainty for the region of interest (ROI) marked by the user according to the manual (A65-B32 Software's User's Manual, 2020). The program deducts the calculated background channel by channel. Then, it tries the least-squares fit of a Gaussian (Squires, 2001; Baedeker & Grossman, 1989) function to the net area. If successful, the fitted function will give the centroid. If not, the peak position was decided at where the highest number of counts within the peak limits. Linear interpolation between the background-subtracted channels will give the reported widths. Because of the software's version, there was no fit on display during the analysis. The Fig. 1a indicates the low (l) and high limit (h) of the ROI, count number as C_i at i th channel, A_M as the net area and G_{Madj} as the adjusted gross area in the same ROI. The subscript M will be used for Maestro software calculations from this point onwards for clarity. The background (B_M) was accepted as the flat area of a trapezium, given by $B_M = (\sum_{i=l}^{l+2} C_i + \sum_{i=h-2}^h C_i) \times \frac{(h-l+1)}{6}$ under the ROI. The nominator of $(h-l+1)$ represents the total ROI width. The adjusted background area, however, was defined by $B_{Madj} = B_M \times \frac{(h-l+1-6)}{(h-l+1)}$ as shown in Fig. 1a. Whilst the gross area was equal to $G_M = \sum_{i=l}^h C_i$, the adjusted gross area was formulated by $G_{Madj} = \sum_{i=l+3}^{h-3} C_i$. Thus, the net area inside the width of "h-l-6" bins was calculated by $A_M = G_{Madj} - B_{Madj}$. The uncertainty in the net area was also calculated by the square root of the addition of the squares of the uncertainty in the weighted error of the adjusted background area and the adjusted gross area. Briefly, it was represented by $\sigma_{A_M} = \sqrt{G_{Madj} + [B_{Madj} \times (\frac{(h-l+1-6)}{6})]}$.

In early days of γ -ray spectroscopy, Covell Method was also used in NaI scintillation spectra, but in a different way. When using NaI detectors with low resolution, overlapping peaks might be more frequent in comparison to high resolution high purity Germanium detectors (HPGe). This issue brought the limitation criteria on γ -ray analysis in scintillation detectors. Because of peak interferences, it was needed to restrict the whole range of a Gaussian peak of a γ -ray. However, the same width (portion) of the peaks would be used throughout the analysis for consistency to retrieve the entire data due to compensation done before. By knowing the ratio of the integrated areas from standard deviations, the analysis would be made more efficient (Squires, 2001). In the peak area integration procedure on the other hand, the Covell method was based on locating the peak centroid first and then limiting the peak range equally on both sides of the peak's centroid channel (Heydorn & Lada, 1972). This was simply shown in Fig. 1b. It's stated by the Kaj and Witold that this method gave accurate results when the peak was single and isolated with a background represented by a straight line. They also said that the precision of the peak area integration relies on the channel range under the peak. However, we will use Covell method for overlapping peaks with a restricted ROI. In addition, Covell method assumes no correlation among channels in the spectrum, and this affects the calculation of the variance. In Fig. 1b, initial version of the Covell method was shown. The background level estimation in the Fig. 1b was done by using only

one blacked bin on both side of the lower (L) and upper (U) limits of the peak in

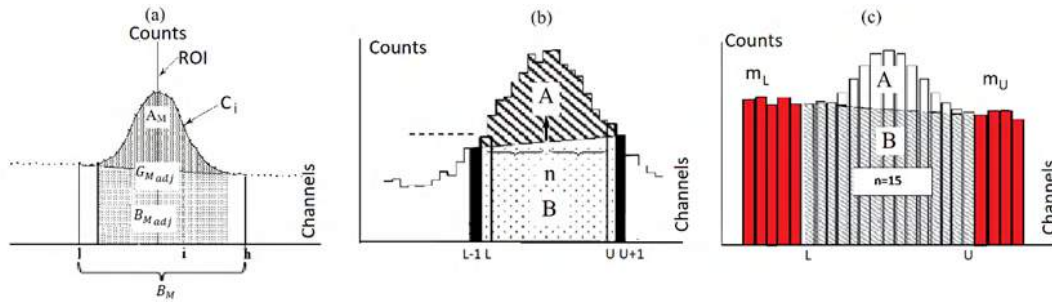


Figure 1: Figure 1a indicates the area separation in Maestro software. Figure 1b shows the different areas with dotted and striped patterns for undeveloped versions of Covell and TPA methods. However, Fig. 1c represents the improved version of Covell and TPA methods.

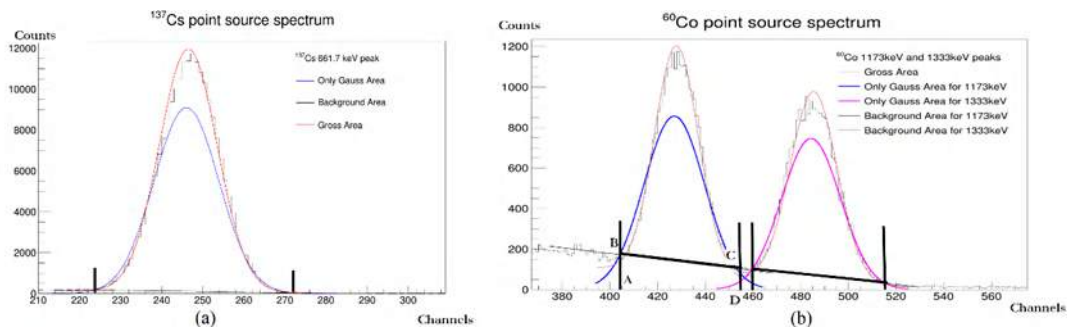


Figure 2: Figure indicates the portions of uncalibrated γ -ray spectra for ^{60}Co and ^{137}Cs point sources. Peak energies in these point sources were listed on the top right of the legends in ROOT canvas. Total channels used here were 1024, and spectra had 1 bin resolution per channel. Vertical lines were just to visualize the confidence limits for the user's input to initialize the code.

this example. Therefore, background (B) beneath the POI could be calculated by the equation of $B = n \times \frac{(C_{L-1} + C_{U+1})}{2}$ where C represented the counts of their corresponding bins as indicated. The letter n stands for the total number of channels under the POI. Whilst gross (G) area of the peak equals to $G = \sum_{i=L}^U C_i$, the subscript of i stands for the ith channel. The net peak area (A) is given by the following: $A = G - B = (\sum_{i=L}^U C_i) - [n \times \frac{(C_{L-1} + C_{U+1})}{2}]$. Additionally, the variance of A, $\text{var}(A)$, is equal to $\sum_{i=L}^U C_i + [\frac{n^2}{(2)^2} \times (C_{L-1} + C_{U+1})]$ due to the rule of $\text{var}(kx) = k^2 \text{var}(x)$. The uncertainty (σ_A) then becomes $\sqrt{\text{var}(A)}$. This method indicates that the background area can only be estimated by the adjacent counts to the ROI. Meanwhile, the sources of possible background counts in γ -ray spectroscopy will not be mentioned in this study. However, be aware that the uncertainty of the background can affect the total uncertainty of the peak area measurements.

On the contrary, TPA (Gilmore, 2008; Loska, 1987) method was used for an isolated single peak in this study. The representation can be seen in Fig. 1c. It was known that the reduction in uncertainty after adding extra channels for background calculation faded away after 3 or 4 channels. In practice, more than 9 or 10 channels had no beneficial use in the absence of neighbouring peaks (Gilmore, 2008). More channels to estimate the background makes the calculations more precise, so the mean count per channel under the peak becomes less

uncertain. It was also mentioned by Baedeker that TPA method was less sensitive to the effect of errors due to peak broadening at the time of higher rates in counting the γ -rays in comparison to Covell method (Baedeker & Grossman, 1989). However, this will not be proven here. Since the adjacent peaks are more frequent in γ -ray spectroscopy with the advent of high-resolution detectors, flexible limits on choosing the ROI become the inevitable rules of any analysis. For instance, background estimation area can span different number of bins (channels) for the lower (m_L) and upper part (m_U) (Gilmore, 2018; Quittner, 1969). Therefore, previous formula for B was revised as $B = n \times \frac{(\sum_{i=L-m_L}^{L-1} C_i + \sum_{i=U+1}^{U+m_U} C_i)}{m_L + m_U}$. Gross area, however, remained the same.

Since the net area (A) was calculated as $A = G - B$, the variance of the A could also be calculated as $\text{var}(A) = \text{var}(G) + \text{var}(B) = (\sum_{i=L}^U C_i) + [\frac{n^2}{(m_L + m_U)^2} \times (\sum_{i=L-m_L}^{L-1} C_i + \sum_{i=U+1}^{U+m_U} C_i)]$. Then, the true standard deviation (the uncertainty) can be summarized by $\sigma_A = \sqrt{\text{var}(A)} = \sqrt{G + (B \times \frac{n}{m_L + m_U})}$ by the rule of $\text{var}(G) + \text{var}(B) = \text{var}(G + B)$ in the case of no correlation between the terms [2].

In Fig.2, ROOT fits were applied on the same experimental data of ^{60}Co and ^{137}Cs point sources. The peak energies of 661.7 keV, 1173 keV and 1333 keV were shown at their corresponding channel numbers. Whilst red lines mark the gross count (G) region, blue lines show the net signal area after background (B)

Table 1: In this study, the Maestro software's outputs in the first column were regarded as the reference, but the calculations of Maestro, TPA and Covell methods as stated in the text were also performed by the ROOT coding on the data. They were marked by _R suffix. Lastly, the ROOT fit results were listed for a comparison.

Details	¹³⁷ Cs 661 keV				⁶⁰ Co 1173 keV				⁶⁰ Co 1332 keV			
	Ref:Maestro software	Maestro_R	TPA_R	ROOT Fits	Ref:Maestro software	Maestro_R	Covell_R	ROOT Fits	Ref:Maestro software	Maestro_R	Covell_R	ROOT Fits
Centroid_Bin	247	248	248	-	429	429	429	-	484	483	483	-
Centroid_Fit	-	-	-	246.7	-	-	-	428.05	-	-	-	484.7
Peak_Limits	230-266	230-266	230-266	-	408-450	408-450	408-450	-	461-509	461-509	461-509	-
n	37	37	37	-	43	43	43	-	48	48	48	-
m _L	3	3	4	-	3	3	3	-	3	3	3	-
m _U	3	3	4	-	3	3	3	-	3	3	3	-
G	-	206138	206138	208067	-	28722	28722	29718.3	-	24788	24788	25128.4
σ _G	-	-	-	22742.2	-	-	-	3266	-	-	-	295.8
G _{adj}	205598	201546	-	-	28663	27576.6	-	-	24757	24124.1	-	-
B	-	29563	-	62557.3	-	8406.5	-	9666.4	-	5618.7	-	5736.6
σ _{B_M}	-	-	-	250.3	-	-	-	98.37	-	-	-	75.78
B _{adj}	-	24793.8	10804	-	-	7240.7	6256.5	-	-	4935.6	3221.75	-
A _n	173494	176752	195334	145510	20242	20335.8	22465.5	20051	19212	19188	21566.2	19391.8
σ _{A_n}	582	574.61	505.7	520.2	268	268.94	309.59	198.5	242	244.1	253.71	175.7
FWHM_Fit	15.92	17	17	17.003	21.23	24.51	-	24.51	22.8	25.93	-	25.9

subtraction. The background increases as the γ -ray energies increase, and this became apparent between Figure 2a and 2b for ¹³⁷Cs and ⁶⁰Co peaks. The representation of background as trapezoid, for example, was framed by A,B,C, and D letters in Fig. 2b. In ROOT, outcomes were based on the fit results on the data. Therefore, total function for fitting was firstly defined as the sum of Gaussian and 1st order polynomial functions for the consistency with previous calculations. This sum function was, then, fitted on a data to retrieve its parameters. Additionally, the user-controlled confidence limits, coverage ratio and coverage factor were introduced in the code for peak area integration. To get the net count (A), gross count number (G) deduced from the background counts (B) under the same ROI by using pre-defined integral function in ROOT. This strategy was different than the Covell and TPA methods. The graphical interface in Fig. 2 also helps the user to decide about ROI, POI, and background limits in the initialization stage for fittings. User-set coverage ratio was used to retrieve the whole counts corresponding to the total counts beneath the POI (Ellison at al., 2009). It's because the covered ROI might not cover 100% of the peak all the time. By the individual errors in gross and background counts, the uncertainty of A was calculated by $var(A)=var(G)+var(B)$ and $\sigma_A = \sqrt{var(A)}$ for the case of A=G-B.

3. Results and Comments

As a result, the methods of Covell and TPA were similar regarding the formulation. However, their applications were different as explained. As the TPA method could retrieve roughly

99.9% area statistically with 3 σ confidence limit by coverage factor of 3, it was hard for the Covell method to extend the limits that much in the case of interfering γ -ray peaks. Note that the confidence limit was defined by the coverage factor multiply the standard deviation(σ). Therefore, the Covell method required additional coverage ratio to insert into its calculations. According to Table 1, net area results gave approximately 2% and 13% higher values in Maestro_R and TPA_R but 16% lower for the ROOT fits in comparison to Maestro software in the case of ¹³⁷Cs example. For ⁶⁰Co peak at 1173 keV, net counts were approximately 0.4% and 11% higher values in Maestro_R and Covell_R but 0.9% lower for the ROOT fits in comparison to Maestro software. Lastly, net area for ⁶⁰Co peak at 1332 keV appeared approximately 0.1% and 12% higher values in Maestro_R and Covell_R, and also 0.9% higher for the ROOT fits beside Maestro software. The proximity to the reference values is high in Maestro_R and ROOT fits. However, TPA or Covell methods presented around 11% closeness to Maestro software's results. This only means more adaptations in calculations and better fit functions, such as 2nd order polynomials for the background, in ROOT analysis could be implemented in the analysis. Also, different integration methods could be added in ROOT coding for comparisons.

References

A65-B32 Software's User's Manual. Ortec Part No. 777800. Available: <https://www.ortec-online.com/-/media/ametekortec/manuals/a65-mnl.pdf> [Access on: 1th September 2020].

- Baedecker, P.A. & Grossman, J.N. The computer analysis of high resolution gamma-ray spectra from instrumental activation analysis experiments. (Report series number: 89-454). U.S. Geological Survey, Reston, Virginia 22092. (1989). p. 1-55. <https://doi.org/10.3133/ofr89>
- Covell, D.F. Determination of gamma-ray abundance directly from the total absorption peak. *Analytical Chemistry*, 31(11). (1959, November). p. 1785-1790. <https://doi.org/10.1021/ac60155a027>
- Ellison, S.L.R., Barwick, V. J., Farrant, & T.J. D. Practical statistics for the analytical scientist: a bench guide (valid analytical measurement). Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, UK: The Royal Society of Chemistry. (2009). p. 25.
- Gilmore, G. R. Practical Gamma Ray Spectrometry. 2nd Edition. Warrington, UK: John Wiley and Sons, Ltd. 2008. p. 101-131.
- Heydorn, K. & Lada, W. Peak boundary selection in photopeak integration by the method of Covell. *Analytical Chemistry*, 44(14) (1972). p. 2313-2317. <https://doi.org/10.1021/ac60322a006>
- Loska, L. A modification of the "total peak area" (TPA) method for gamma ray spectra. *International journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part A. Applied Radiation and Isotopes*, 39 (6). (21, December, 1987). p. 475-477. [https://doi.org/10.1016/0883-2889\(88\)90192-X](https://doi.org/10.1016/0883-2889(88)90192-X)
- Squires, G.L. Practical Physics 4th Edition. Cambridge University Press. (2001). p.18-26.
- Quittner, P. Peak area determination for Ge(Li) detector data. *Nuclear Instruments and methods*, 76. (1969, May, 27). p. 115-124. [https://doi.org/10.1016/0029-554X\(69\)90299-7](https://doi.org/10.1016/0029-554X(69)90299-7)



Assessment of Feature Selection for Liquefaction Prediction Based on Recursive Feature Elimination

Selçuk Demir^{1*}, Emrehan Kutluğ Şahin²

^{1*} Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Bolu, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2520-4395), selcukdemir@ibu.edu.tr

² Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Bolu, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9830-8585), emrehansahin@ibu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.998033)

ATIF/REFERENCE: Demir, S. & Sahin, E. (2021). Assessment of Feature Selection for Liquefaction Prediction Based on Recursive Feature Elimination. *European Journal of Science and Technology*, (28), 290-294.

Abstract

This paper presents a machine learning model using a random forest (RF) algorithm with the recursive feature elimination (RFE) for the soil liquefaction prediction. The prediction model is tested on 253 CPT-based field data from different earthquakes. RFE, which is one of the feature selection methods, was adopted for eliminating irrelevant features in the mentioned dataset, and then the performance of the RFE-RF (i.e., the model determined by the RFE method) and the RF models with all variables were compared in terms of their performance matrices. The primary focus of this study is to investigate the effectiveness of the feature selection algorithm approach, therefore the raw data that is a benchmark dataset was used to compare the performance of the RFE-RF. The result showed that the RFE approach improved the overall accuracy of the liquefaction prediction.

Keywords: Liquefaction Prediction, Feature Selection, Machine Learning, Recursive Feature Elimination, Random Forest.

Sıvılaşma Tahmininde Özyinelemeli Özellik Seçmeye Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışma, zemin sıvılaşması tahmini için özyinelemeli özellik seçimi (RFE) ile rastgele orman (RF) algoritması kullanan bir makine öğrenme modeli sunmaktadır. Tahmin modeli, farklı depremlerden elde edilen 253 CPT tabanlı saha verileri üzeri kullanılarak test edilmiştir. Söz konusu veri setindeki ihtiyaç fazlası özelliklerin elimine edilmesi için özellik seçim yöntemlerinden biri olan RFE benimsenmiştir. Ardından RFE-RF'nin (yani RFE yöntemiyle belirlenen modelin) ve bütün değişkenlerin kullanıldığı RF modelin performansları performans matrisleri açısından incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın önceliği, öznelik seçim algoritması yaklaşımının etkinliğini araştırmaktır, bu nedenle RFE-RF'nin performansını karşılaştırmak için bir kıyaslama veri seti olan ham veriler kullanılmıştır. Sonuç olarak, RFE yaklaşımının kullanılmasının sıvılaşma tahmin modelinin genel doğruluğunu arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma Tahmini, Özellik Seçimi, Makine Öğrenme, Özyinelemeli Özellik Seçimi, Rastgele Orman.

* Corresponding Author: selcukdemir@ibu.edu.tr

1. Introduction

It has long been recognized that soil liquefaction-induced earthquake hazards have enormously contribute to social and economic losses. The liquefaction phenomenon is often described in the literature as a transformation of cohesionless soils from solid to viscous state due to the generation of excess porewater pressures and negligible shear resistance under seismic loads (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2006; Kumar et al., 2021). Liquefaction-related ground failures and hazards have been observed in many previous notable earthquakes (Niigata 1964, Alaska 1964, Kobe 1995, Kocaeli 1999, Christchurch 2010-2011). For this reason, the challenge for predicting soil liquefaction and its effects has been still studying by many engineers and researchers.

The literature consists of several methods to estimate the soil liquefaction potential. Typical methods for the evaluation of liquefaction potential at a specific site are laboratory tests and field studies (in situ tests). Due to the disadvantages of laboratory tests, such as representing actual field conditions and obtain undisturbed soil samples, the in-situ tests are much preferred for soil liquefaction evaluation. The commonly used liquefaction evaluation procedure developed by Seed and Idriss (1971) are based on different in situ tests including standard penetration test (SPT) (Cetin et al., 2004; Idriss and Boulanger, 2008), cone penetration test (CPT) (Robertson and Wride, 1998; Boulanger and Idriss, 2014) and shear wave velocity (V_s) (Andrus and Stokoe, 2000; Kayen et al., 2013). However, these methods have some limitations and require extensive resources.

In recent years, soft computing methods (e.g., artificial intelligence, machine learning) have been successfully applied in various geotechnical engineering topics. Most recent literature surveys point out that soft computing models based on in situ testing data have been increased and considered as an alternative approach for liquefaction prediction (Hoang and Bui, 2018). Artificial neural networks (ANN), support vector machines (SVM), and decision tree-based algorithms such as Random Forest (RF) are popular tools for data processing with different parameters. For example, researchers have employed the ANN model to estimate soil liquefaction (e.g., Erzin and Ecemis, 2015; Shahri, 2016). In addition, some researchers have used the SVM algorithm to determine prediction models for soil liquefaction (Samui et al., 2011; Xue and Yang, 2016). Similarly, Kohestani et al. (2015) have utilized an RF algorithm to predict the occurrence of soil liquefaction.

It is often desired to have a model that has the best predictive ability. However, the performance of prediction models reduces when models include noisy and redundant features. Especially, some of the learning models, such as support vector machines and neural networks, may have been significantly affected by irrelevant features (Kuhn and Johnson, 2019). This performance can be improved by removing the superfluous features using feature selection (FS) methods (Guyon and Elisseeff, 2003). FS is an effective technique in order to be able to decide which features are mostly irrelevant and should be eliminated from the original feature space. Recursive feature elimination (RFE) is one of the examples of the most preferred feature selection algorithms to analyze datasets and achieve the best model performance

(Granitto et al., 2006; Sánchez-Marroño et al., 2007; Gregorutti et al., 2017).

This paper presents a machine learning model using an RF algorithm for soil liquefaction prediction. The RFE algorithm was applied to define only important and relevant features of the dataset. The performance of the RFE-RF and RF models were separately investigated in terms of their performance matrices. All computations in this paper were handled with the open-source software called R (Team R, 2020).

2. Material and Method

2.1. Data Used

The prediction model was constructed by using CPT data collected from 253 soil liquefaction cases that occurred in different countries (Boulanger and Idriss, 2014). Summary of statistical measures of the CPT data is summarized in Table 1. This dataset consists of the following ten independent variables, namely depth of the soil specimen (d); cone tip resistance (q_c); sleeve friction ratio (R_f); fine content (FC); depth of ground water table (d_w); total and effective vertical stress (σ_v and σ'_v); maximum horizontal acceleration at the ground surface (a_{max}); cyclic stress ratio (CSR); and earthquake moment magnitude (M_w).

Table 1. Statistical measures of the CPT data

Variable	Min-Max	Mean	Median
d	1.4-11.8	4.45	4.1
q_c	0.94-45	5.9	4.79
R_f	0.03-2.91	0.76	0.61
FC	0-85	17.82	11
d_w	0.20-7.20	2.04	1.8
σ_v	24-210	81.19	74
σ'_v	19-147	57.65	53
a_{max}	0.09-0.84	0.32	0.28
CSR	0.07-0.70	0.28	0.25
M_w	5.9-9	6.98	6.93

2.2. Random Forest and Recursive Feature Elimination

Random Forest (RF) (Breiman, 2001) is a popular ensemble learning algorithm consisting of separately trained binary decision trees. The RF algorithm has many advantages as compared to other machine learning algorithms. For example, it can be used for both classification and regression problems. Moreover, RF is user-friendly and requires fewer hyperparameters, such as the number of decision trees, the number of suitable features for splitting, and the minimum size of the maximum depth of each tree.

Recursive Feature Elimination (RFE) is a feature selection algorithm proposed by Guyon et al. (2002) that basically works by using all features with a ranking according to their feature importance. The process of the RFE algorithm continues recursively by removing the least important features until the desired number of features remains. After that, the best accuracy performance is achieved by removing irrelevant features with RFE.

2.3. RFE with Cross-Validation (CV)

k-Fold CV as well as grid search technique were employed to find the optimal variables and to get a robust result for liquefaction prediction. In each model of RFE with CV, the subset of the optimal variables was determined by the highest accuracy. In this study, k was set as 10 and the simulation was repeated 3 times.

Figure 1 presents the result of the RFE method for achieving the best predictive features. It can be seen that accuracies increase gradually from 56.4% to a maximum value of 79% as the number of elements rises from one to six. Thereafter, the accuracy curve becomes flatter, and accuracies change negligibly, which means the remaining variables do not affect the accuracy of the model. Selected six variables (q_c , a_{max} , CSR, FC, σ_v , and σ'_v) and their feature importance rankings are given in Figure 2. For further analysis, the RF model with these six variables (RFE-RF) and RF with ten variables were separately investigated for evaluating their performances.

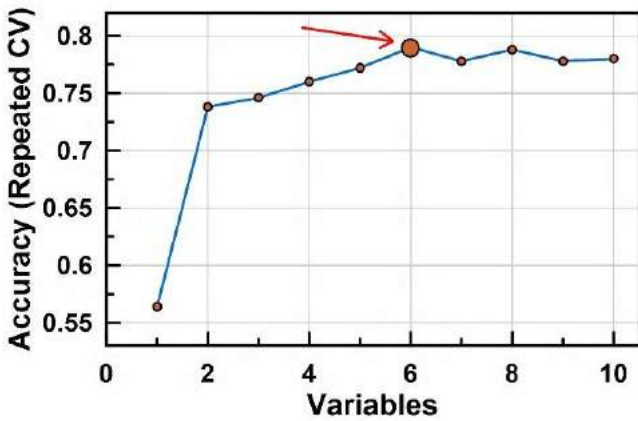


Figure 1. The accuracy curve of ten variables based on RFE

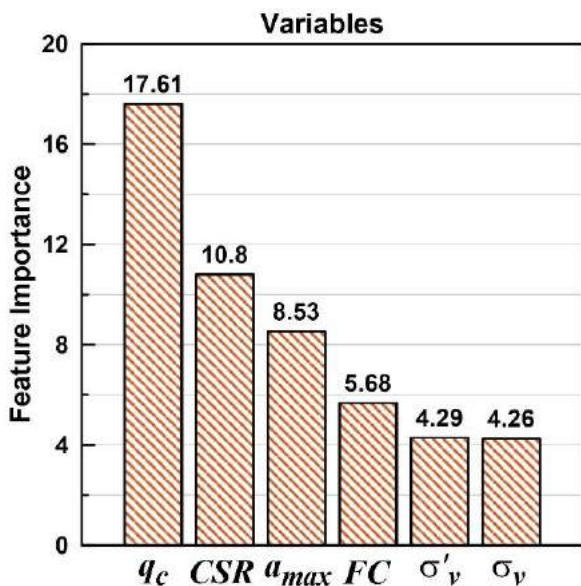


Figure 2. Variation of feature importance rankings of the selected variables

2.4. Parameter Optimization

In the RF algorithm, the number of trees (ntree) and the number of suitable features for splitting (mtry) are adjustable

parameters related to the performance of classification accuracy. In this paper, accuracy results were used to find the optimum values for ntree and mtry regarding k-Fold CV. Figure 3 and Figure 4 show optimization results both for six and ten- featured model cases, respectively. According to the Figure 3 and Figure 4, the accuracy is highest when ntree =200 and mtry =2 for the six-featured model and ntree =100 and mtry =2 for the model having all ten features.

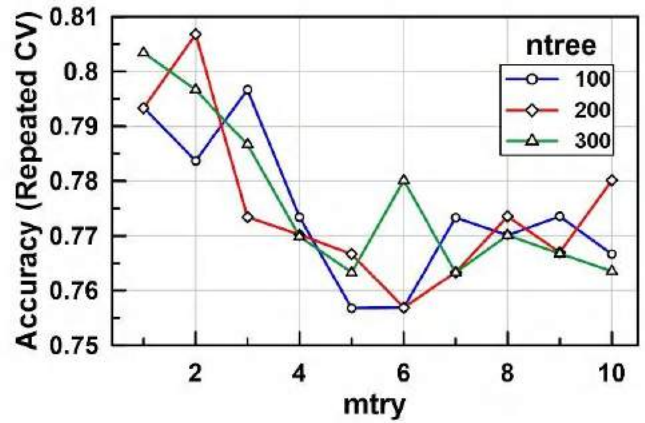


Figure 3. Parameter optimization for six-featured model

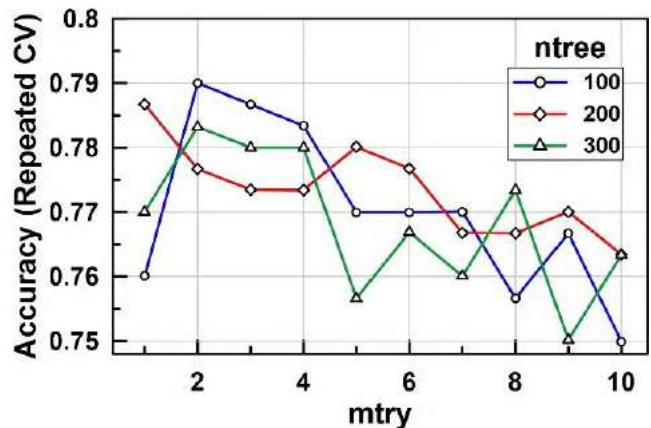


Figure 4. Parameter optimization for ten-featured model

3. Results

Different ratio options for splitting training and test data can be preferred based on machine learning methods. In the present study, training /test data ratio was used in the ratio of 70:30 with the aid of the stratified random sampling technique. The basic idea of this technique is that it partitions the entire dataset into relatively homogeneous groups of samples, in which the training and testing datasets of each fold contain roughly the same proportion of each class label. For calculating the performance of models, Accuracy, Kappa, Precision, Recall, and F1 metrics were used. Details of the used matrices are given in Table 2. The performance metrics are based on the Confusion Matrix (CM). The CM essentially places the resulting predictions into four groups; TP: True-Positive, FP: False-Positive, TN: True-Negative, FN: False-Negative.

The results of the performance matrices corresponding RFE-RF and RF models are compared in Figure 5. It is clearly seen that from Figure 5, the RFE-RF model outperforms compared to the RF model in terms of accuracy, kappa, precision, recall, and F1, respectively. The accuracy, kappa, precision, recall, and F1, were

obtained as 88.64%, 77.27%, 95.45%, 84.00%, and 89.36%, respectively for the RFE-RF model. So, when the RFE-RF model was compared to the RF model, results revealed that applying RFE increased the accuracy by 6%. Thus, it can be concluded from all examined results that applying the feature selection method with RFE enhanced the quality of the liquefaction prediction.

Table 2. Performance matrices

Metrics	Range	Formula
Accuracy	0-1.0	$\frac{(TN + TP)}{(TN + FN + TP + FP)}$
Kappa	-1.0-1.0	$\frac{Accuracy - RA}{1 - RA}$
Precision	0-1.0	$\frac{TP}{TP + FP}$
Recall	0-1.0	$\frac{TP}{TP + FN}$
F1	0-1.0	$2 \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$
RA		$\frac{(TN + FP)(TN + FN) + (TP + FN)(TP + FP)}{Accuracy^2}$

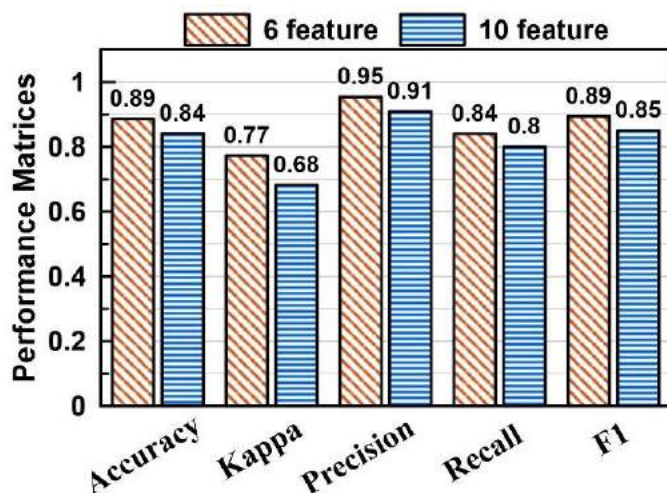


Figure 5. Analysis results of prediction models from different performance matrices

4. Conclusions

The main aim of the study was to predict soil liquefaction with a feature selection algorithm. Therefore, the recursive feature elimination algorithm was employed to select the most relevant features and to enhance the predictive performance of the model. According to the results of the study, the variables of R_f , d_w and M_w were found less important parameters among the other CPT parameters after applying RFE and the RFE-RF model exhibited better performance than the RF model. As a result, this study shows that removing redundant parameters improved the capability of the liquefaction prediction model.

References

Andrus, R. D., & Stokoe II, K. H. (2000). Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 126(11), 1015-1025.

Boulanger, R. W., & Idriss, I. M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Center for Geotechnical Modelling, Civil and Environmental Engineering, UC Davis, CA. Report No. UCD/CGM-14/01.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.

Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder Jr, L. F., Kayen, R. E., & Moss, R. E. (2004). Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 130(12), 1314-1340.

Erzin, Y., & Ecemis, N. (2015). The use of neural networks for CPT-based liquefaction screening. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 103-116.

Granitto, P. M., Furlanello, C., Biasioli, F., & Gasperi, F. (2006). Recursive feature elimination with random forest for PTR-MS analysis of agroindustrial products. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 83(2), 83-90.

Gregorutti, B., Michel, B., & Saint-Pierre, P. (2017). Correlation and variable importance in random forests. *Statistics and Computing*, 27(3), 659-678.

Guyon, I., & Elisseeff, A. (2003). An introduction to variable and feature selection. *Journal of machine learning research*, 3(Mar), 1157-1182.

Guyon, I., Weston, J., Barnhill, S., & Vapnik, V. (2002). Gene selection for cancer classification using support vector machines. *Machine learning*, 46(1), 389-422.

Hoang, N. D., & Bui, D. T. (2018). Predicting earthquake-induced soil liquefaction based on a hybridization of kernel Fisher discriminant analysis and a least squares support vector machine: a multi-dataset study. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77(1), 191-204.

Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute.

Kayen, R., Moss, R. E. S., Thompson, E. M., Seed, R. B., Cetin, K. O., Kiureghian, A. D., ... & Tokimatsu, K. (2013). Shear-wave velocity-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(3), 407-419.

Kohestani, V. R., Hassanlourad, M., & Ardakani, A. J. N. H. (2015). Evaluation of liquefaction potential based on CPT data using random forest. *Natural Hazards*, 79(2), 1079-1089.

Kuhn, M., & Johnson, K. (2019). Feature engineering and selection: A practical approach for predictive models. CRC Press.

Kumar, D., Samui, P., Kim, D., & Singh, A. (2021). A Novel Methodology to Classify Soil Liquefaction Using Deep Learning. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(2), 1049-1058.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). State of the art and practice in the assessment of earthquake-induced soil liquefaction and its consequences. Washington, DC: The National Academies Press. doi, 1017226, 23474.

- Robertson, P. K., & Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian geotechnical journal*, 35(3), 442-459.
- Samui, P., Kim, D., & Sitharam, T. G. (2011). Support vector machine for evaluating seismic-liquefaction potential using shear wave velocity. *Journal of applied geophysics*, 73(1), 8-15.
- Sánchez-Marroño, N., Alonso-Betanzos, A., & Tombilla-Sanromán, M. (2007, December). Filter methods for feature selection—a comparative study. In *International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning* (pp. 178-187). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations division*, 97(9), 1249-1273.
- Shahri, A. A. (2016). Assessment and prediction of liquefaction potential using different artificial neural network models: a case study. *Geotechnical and Geological Engineering*, 34(3), 807-815.
- Team, R. C. (2020). R: the R project for statistical computing. <https://www.r-project.org/>
- Xue, X., & Yang, X. (2016). Seismic liquefaction potential assessed by support vector machines approaches. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(1), 153-162.



Fotogrametrik Nokta bulutunun Görünürlük Analizinde Kullanımı: Gümüşhane Seyir Terası Yer Seçimi

Mehmet Akif Günen*

*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane.(ORCIDID: 0000-0001-5164-375X),
akif@gumushane.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.996605)

ATIF/REFERENCE: Günen M.A., (2021). Fotogrametrik Nokta bulutunun Görünürlük Analizinde Kullanımı: Gümüşhane Seyir Terası Yer Seçimi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 295-299.

Öz

Kentsel nüfusun hızlı artışı ile beraber kültürel, ekonomik, sosyal ve çevresel değişimler kaçınılmaz olmuştur. Yerel yönetimler şehrin cazibesini arttırarak yerel ve yabancı turist ağırlamak için farklı turizm atımları gerçekleştirmektedir. Uçurum, kanyon ve vadi gibi zorlu topografyalara inşa edilen seyir terasları son zamanlar oldukça rağbet gören turizm tesisleri haline gelmişlerdir. Bu tür noktaların görünürlük analizinin yapılması bölgesel turizmin ilerletilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada Gümüşhane ilinin 7 farklı noktasına inşa edilmesi senaryolaştırılan seyir terasları için görünürlük analizi gerçekleştirilmiştir. Görünürlük analizi için profesyonel fotogrametrik kamera ile elde edilen görüntüler nokta bulutu oluşturmak için işlenmiştir. Daha sonra, yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip 3 boyutlu nokta bulutu gürültüden arındırmak için filtrelenmiş ve ardından sayısal arazi modeline dönüştürülerek görünürlük analizi gerçekleştirilmiştir. Görünürlük analizinde yoğun olarak uydu görüntülerinden elde edilen sayısal arazi modelleri yerine fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutu üzerinden işlemler gerçekleştirilerek analizin yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. MATLAB programlama dilinde gerçekleştirilen analizler sonucunda %13.12 görüş alanına sahip bölge en uygun yer olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:Görünürlük analizi, fotogrametri, nokta bulutu, seyir terası, yer seçimi.

Use of Photogrammetric Point Cloud in Viewshed Analysis: Gümüşhane Observation Terrace Site Selection

Abstract

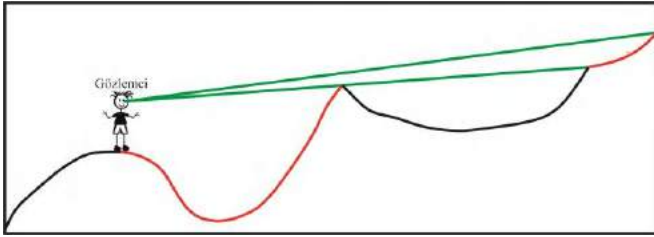
Cultural, economic, social, and environmental changes have become unavoidable as the metropolitan population has grown rapidly. Local governments are launching a variety of tourism programs to improve the city's attractiveness and attract both domestic and international visitors. Built on difficult topographies such as cliffs, canyons, and valleys, observation terraces have recently become popular tourist attractions. The examination of such places' visibility is critical for developing regional tourism. In this study, viewshed analysis was carried out for the viewing terraces, which were scripted to be built at 7 different points in Gümüşhane. Images obtained with a professional photogrammetric camera for viewshed analysis were processed to form a point cloud. The 3D point cloud was then filtered with high spatial resolution to reduce noise before being transformed into a digital terrain model for viewshed analysis. In the viewshed analysis, operations are performed on the photogrammetrically produced point cloud rather than the digital terrain models derived from satellite photos, resulting in high accuracy. The region with a field of view of 13.12 % was determined to be the most suited location as a result of the MATLAB programming language analyses.

Keywords:Viewshed analysis, photogrammetry, point cloud, observation terrace, site selection.

Sorumlu Yazar: akif@gumushane.edu.tr

1. Giriş

Bir noktanın başka bir noktadan görülüp görülmediğini görünmezlik veya görünürlük analizi ile belirlemek tek bir noktadan görülebilen toplam alanı tahmin etmek Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) temel uygulama alanı haline gelmiştir. Görünürlük analizi genel olarak arazi yüzeyindeki bir noktadan belirli veya çoklu doğrultulara bakıldığında görünen alanın belirlenmesi sürecidir (Alsadik, Gerke, ve Vosselman, 2014; Brabyn, 2015). Şekil 1’de görüş alanına dayalı görünürlük analizi verilmiştir. Günümüzde görünürlük analizi arkeolojik alanlarda (Mauro ve Durastante, 2020), rüzgâr türbini kurulumunda (Alphan, 2021), turizm (Brabyn, 2015), radyo-haberleşme kulesi konum belirlenmesinde (Klampfer, Mohorko, Čučej, ve Chowdhury, 2011), şehir çevre planlamasını değerlendirmede (Leduc ve Hartwell, 2020), askeri (Williamson ve McLin, 2015) ve orman yangını gözetleme istasyonu yeri belirleme (Lee ve ark., 2019) gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Geçmişte, askeri amaçlar öncelikli kullanılan görünürlük analizi CBS’nin özel sektörde yaygınlaşmasıyla birlikte, geniş bir kullanım alanında uygulanmaya başlamıştır. Turizmde CBS kullanılması, ekonomik, hızlı ve akılcı sonuçlar sağlayarak karar vericilere sağladığı görsel ve istatistiksel veriler nedeniyle tercih edilmektedir. Özellikle gelişmekte olan şehirlerde seyir terası gibi bölgesel turizmi canlandıracak yatırımlarda modern yaklaşımların kullanılması yerel yönetimlere daha az maliyetli, akılcı ve uygulanabilir çözümler sağlayacaktır.



Şekil 1. Görüş hattına dayalı görünürlük analizi. Kırmızı alanlar görünür bölümleri, siyahlar görünmez bölümleri ve yeşil ise bakış hattını göstermektedir.

Veri toplama ve işlemedeki teknolojik gelişmeler, Dünya yüzeyi hakkında çok büyük miktarda veri üretilmesini sağlamaktadır. Fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutları insan algısı açısından görselleştirilmesi gerekmektedir. Bu veriler çeşitli dönüşümler kullanılarak bilgisayar ortamında görselleştirilmektedir. Araziye topografik karakterler bilgisayar ortamında genellikle sayısal yüzey modeli (SYM) ile temsil edilir. SYM, metre veya enlem-boylam olarak düzenli aralıklarla yerleştirilmiş yüksekliklerin bir matrisidir. SYM basit bir veri yapısına sahiptir, analiz edilmesi daha kolaydır ve çözünürlüğü arttıkça doğruluğu artar (Karkinli ve ark., 2015; Kim, Rana ve Wise, 2004).

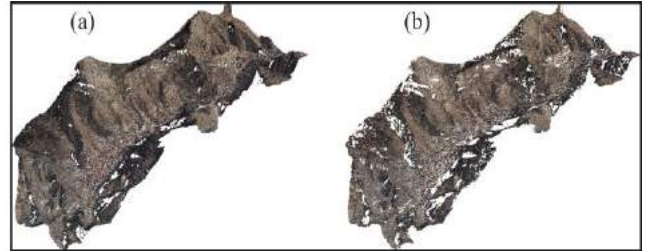
Görünürlük tanımı ilke olarak Tandy tarafından (Tandy, 1967) 1967’de ortaya atılmıştır. 1968’de arazideki görünürlüğü otomatik olarak ölçmek için tasarlanan bir bilgisayar programında uygulanmıştır (Amidon ve Elsner, 1968). Son yıllarda, gerçek zamanlı işlemlerde ve özellikle bilgisayar ve konsol oyunlarında kullanılan grafiklerin görünürlük sorununu çözmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Yüzey üçgenleri, voksel ve gizli nokta kaldırma temelli yöntemler en popüler olan görünürlük analiz yaklaşımlarıdır. Üçgenleme tabanlı yöntemler, yüzey normalinin yönü, uzayda bir üçgen ve gözlemciden bakış doğrultusundaki çizgi arasındaki kesişimi uygulanmaktadır. Voksel tabanlı yöntemlerde, nokta bulutu voksel olarak temsil edilmektedir ve

görünürlük noktalarından ziyade vokseller bazında analiz edilmektedir. Nokta bulutu verisinin doğrudan kullanıldığı gizli nokta kaldırma yönteminde, görünür noktaları bulmak için orijinal nokta bulutu ikili bir alana yansıtılır. Daha sonra, dönüştürülmüş bu nokta bulutunun dışbükey gövdesinde bulunan noktaları çıkarılır. İlgili yöntemlerin hesaplama maliyeti, hız ve doğruluk açısından avantajları ve dezavantajları vardır (Alsadik ve ark., 2014; Katz, Tal, ve Basri, 2007). Bu çalışmada bilgisayar belleği açısından hesaplama maliyeti avantajı sağladığından ve bir yüzey oluşturmaktan kaçınmasından dolayı voksel tabanlı yöntem kullanılmıştır.

Bu çalışmada Gümüşhane iline inşa edilmesi senaryolaştırılan 7 farklı seyir terası için en fazla görüş alanına sahip farkı mekânsal yerlerin görünürlük analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda fotogrametrik olarak elde edilen yüksek mekânsal doğruluğa sahip nokta bulutu ızgaralanmış SYM modeline dönüştürülerek analiz yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada nokta bulutu üretmek için Gümüşhane il merkezine ait 741 adet görüntü fotogrametrik uçuş için özelleştirilmiş uçağa monte edilen UltraCamX kamera ile elde edilmiştir. Görüntüler %80 enine/boyuna bindirme oranlarında yakalanmıştır. Her görüntü 14430x7200 boyutlarında olup kamera odak uzaklığı 100.5 mm’dir. Fotogrametrik olarak işlenen görüntülerin geo-koordinatlandırılması için düzgün dağıtılmış adet kontrol noktası kullanılmıştır. İlgili kontrol noktalarına ait ortalama karesel hata 1.7 cm’dir. Oluşturulan nokta bulutu 10 cm yer örneklem aralığına sahiptir. Görünürlük analizi için ilgili mekânsal çözünürlük çok yüksek olduğu için veri 3 m’ye rastsal olarak örneklenmiştir. Elde edilen nokta bulutu Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutu ve filtrelenmiş nokta bulutu

Bir voksel, üç boyutlu düzenli bir ızgarayı temsil eder ve birçok araştırma alanında kullanılmaktadır (Aleksandrov, Zlatanova, Kimmel, Barton, ve Gorte, 2019). Uzayda düzenli bir 3B ızgara üzerinde bir değeri temsil eden hacim öğeleri olan vokseller, yeryüzünde yer alan mevcut veya planlanan yapıların ve nesnelerin gerçekçi ve doğru bir modellemesini oluşturulur. Fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutu filtrelendikten sonra 3 boyutlu ızgaralanmış SYM’ye dönüştürülerek voksel tabanlı görünürlük analizi için kullanılmıştır. İlgili Matlab koduna (URL, 2021)’den ulaşılabilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Görünürlük analizi, görünürlüğü değerlendirmek için en popüler CBS araçlarından biridir. Ancak, görünürlüğü insan perspektifinden belirlerken çeşitli sınırlamaları vardır. Araziye ait eğim, baki ve yükseklik gibi topografik karakteristiklerden ve gözlemciden gözlenen nesneye olan mesafeden büyük ölçüde etkilenir. Bu özelliklerin hiçbiri standart görünürlük alanı analizlerinde ayarlanmaz. Bununla birlikte, görüş alanı, iki temel nedenden (gözlenen bir nesne ile gözlemci arasındaki mesafe ve arazinin 3. boyutu) dolayı insan perspektifine göre daha zayıf bir görünürlük sağlamaktadır. Algılanan arazinin görsel önemi, görünür arazinin kişinin çevre algısı üzerinde ne kadar etkili olduğunu tanımlamak için kullanılabilir bir terimdir. Daha yakın görünen nesnelere, uzaktaki nesnelere göre daha fazla öneme sahip olarak algılanır. Bu, algılanan nesne ile gözlemci arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olan nesnelere göre boyutu ve nesne-arka plan netliği gibi birçok faktörün bir sonucudur (Leduc ve Hartwell, 2020; Nutsford, Reitsma, Pearson, ve Kingham, 2015). Görüş alanı, özellikle tasarlandığı büyük ölçekli arazi analizinde son derece kullanışlı bir araç olsa da, insan perspektifinden özellikle önemli olan bir görünürlük özelliği olan arazinin 3. boyutunu tasvir etmekte başarısız olur. Şekil 3'de çalışma bölgesinin farklı gösterimlerle Google Earth Pro'dan elde edilerek sunulmuş sayısal arazi modelleri sunulmuştur.



Şekil 3. Gümüşhane'nin (a) SYM temsili ve (b) abartılı gösterimi.

Şekil 3.b, Şekil 3.a'dan çok daha fazla görsel öneme sahip olsa da, her ikisi de aynı görüş açısını sağlar. Bilgisayar sistemlerinin ve görüntü yakalama sistemlerinin teknolojilerindeki gelişmeler havai fotogrametrisinin gelişimini hızlandırmıştır. Havadan hızlı görüntü yakalama yeteneği, maliyet avantajı ve küçük ölçekli fotogrametrik uygulamalarda havai fotogrametrisi yersel ölçü düzeyinde doğruluk sağlamaktadır (Civicioglu ve Besdok, 2021). İnsansız hava aracı tabanlı fotogrametrik uygulamalar, topografik irtifa bilgisi üretme konusunda sınırlı bir yeteneğe sahip olsa da, profesyonel uçaklarla gerçekleştirilen uçuşlar çok yüksek 2B uzamsal doğruluk üretir. Bu nedenle, bu çalışmada profesyonel uçağa monte edilen fotogrametrik dijital hava kamerası ile elde edilen görüntüler Agisoft Metashape yazılımı kullanılarak nokta bulutu üretilmesi için kullanılmıştır.

Nokta bulutları belirli ızgara boyutları kullanılarak SYM oluşturmak için kullanılmaktadır (Civicioglu ve Besdok, 2021). Üretilen nokta bulutları gürültüden bağımsız değildir. Ölçme sisteminin doğasından kaynaklanan ve dış etkenlere bağlı bu gürültülerin giderilmesi için Cloud Compare yazılımında yer alan istatistiksel aykırı değer kaldırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin parametreleri olan ortalama mesafe tahmini için nokta kullanım sayısı ve standart sapma değerleri sırasıyla 20 ve 1 olarak belirlenmiştir. Nokta bulutunun filtreleme öncesi ve sonrası durumları Şekil 2'de gösterilmiştir. Filtreleme sonrasında oluşturulan nokta bulutu SYM oluşturmak için kullanılmıştır. Sayısal arazi modeli yerine SYM'nin kullanılmasının en büyük nedeni bina, direk ve ağaç gibi görüş alanını kapatabilecek nesnelere hesaba katılmasıdır. Bu çalışmada nokta bulutu üçgen tabanlı lineer enterpolasyon yöntemi kullanılarak 5×5m ızgara boyutlu SYM'ye dönüştürülmüştür. Bu ızgara boyutunun küçük seçilmesi hesaplama maliyetini arttırırken, büyük seçilmesi ilgili boyuttan küçük nesnelere görünürlük hesabına katılmamasına neden olacaktır. Görünürlük analizi sonucunda gözlemci noktalarına ait konum bilgileri ve ilgili gözlemci noktalarından görünen alanlar Tablo 1'de verilmiştir.

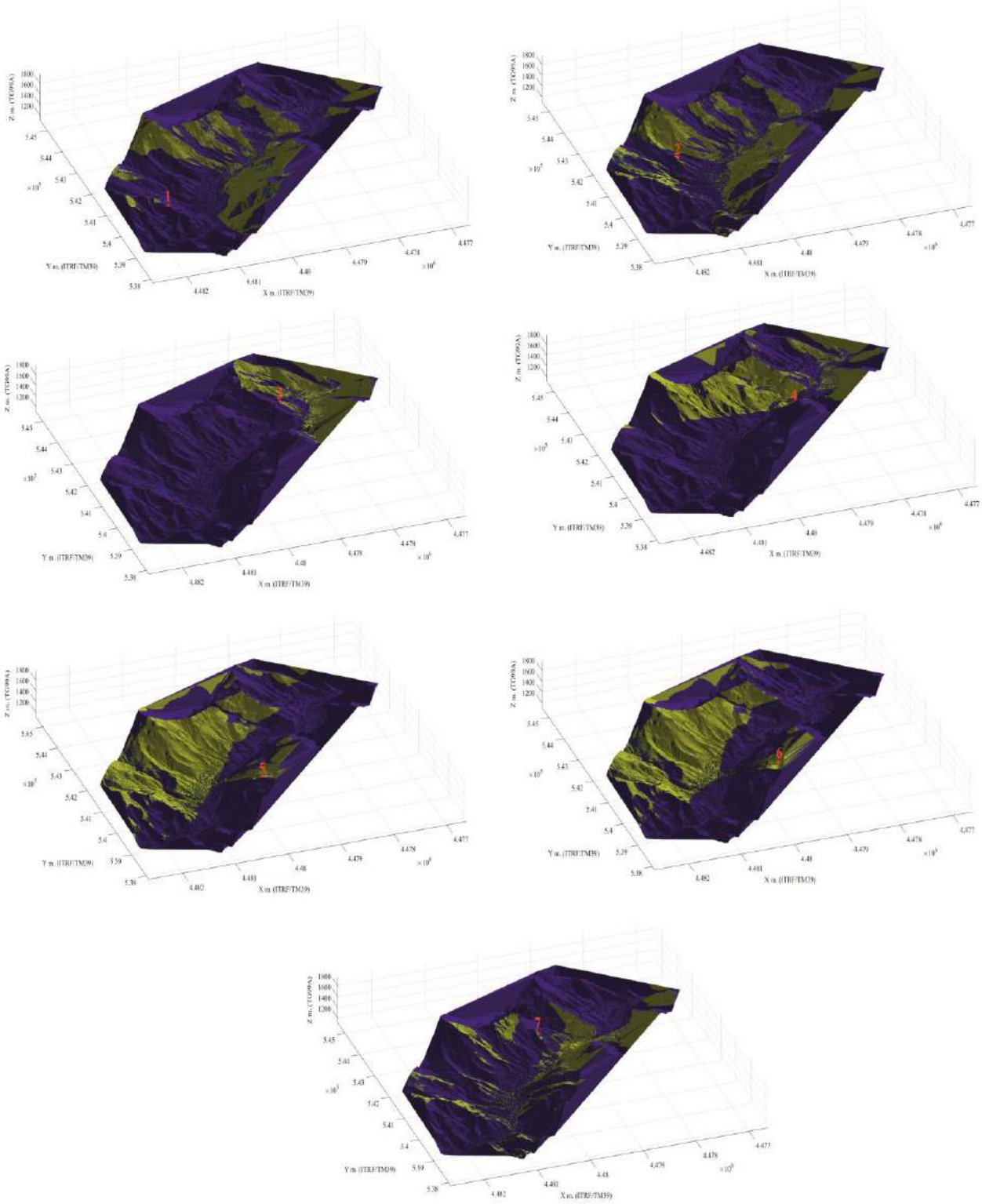
Tablo 1. Görünürlük analizi gerçekleştirilen gözlemci konumları ve kapsama alanları

Gözlemci No	X (m)	Y (m)	Görünür Alan (%)
1	540290	4481674	8.96
2	541426	4481207	13.06
3	543414	4478599	6.11
4	542146	4478889	8.15
5	540417	4479770	13.12
6	540498	4479557	11.94
7	542857	4479594	11.40

Görünürlük analizi sonucunda ilgili SYM ızgarasındaki her bir hücre gözlemci tarafından görülebiliyorsa 1, görülmüyorsa 0 ile işaretlenmiştir. Bu kapsamda, gözlemci tarafından görünen ızgara sayısının, toplam ızgara sayısına oranı görünür alanın hesaplanmasında kullanılmıştır. Görünürlük analizi için 7 farklı gözlemci noktasının yüksekliklerine ortalama insan göz seviyesi olarak 1.60 m eklenerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. 7 farklı nokta belirlenirken ilgili yerlere araç ile ulaşımın olmasına, araziye hâkim tepede yer almasına ve şehir merkezine uzak olmamasına dikkat edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucu oluşan görünür alanlar Şekil 4'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda 5 numaralı gözlemcinin en fazla alanı gördüğü tespit edilmiştir (Tablo 1). Bu alan seyir terası tesisi için en uygun nokta olarak belirlenmiştir.

4. Sonuçlar

Görünürlük analizi, belirli bir bakış açısından gözlemlenen alanları görünür ve görünmez bölgelere ayıran bir tekniktir. Bir 3B nesnenin görünen kısmının hesaplanması, fotogrametri, bilgisayarlı görü, robotik ve CBS uygulamalarında önemli bir problemdir. Görünürlük analizi, belirli bir bakış açısından gerçekleştirilmektedir. İlgili analizin gerçekleştirilmesi için uydu görüntülerinden veya lazer tarayıcılardan/fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutlarından faydalanılmaktadır. Fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutları yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip



Şekil 4. Seyir terası kurulması planlanan noktaların görünürlük analizleri. (Kırmızı nokta gözlemci konumunu, sarı alanlar gözlemci tarafından görülen alanları ve mavi alanlar gözlemci tarafından görülmeyen alanları ifade etmektedir)

olduğundan görüş alanını etkileyebilecek küçük nesnelerin hesaplamalara dâhil edilmesini sağlamaktadır Bu çalışmada profesyonel dijital hava fotoğrafları kullanılarak yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip nokta bulutu fotogrametrik olarak üretilmiştir. Gürültüden arındırılması için istatistiksel aykırı değer kaldırma yöntemi ile nokta bulutu filtrelenmiş ve ardından ızgara SYM'ye dönüştürülerek görünürlük analizi gerçekleştirilmiştir Analiz sonucunda en fazla görüş alanına sahip gözlemci 5 noktası Gümüşhane'nin batısında yer almakta ve şehir merkezinin büyük çoğunluğunu görmektedir. Kurulması muhtemel seyir terası için en uygun yer olarak belirlenmiştir.

5. Teşekkür

Çalışma kapsamında Gümüşhane'ye ait fotogrametrik verilerin temininde yardımlarından dolayı Dr. Öğretim Üyesi Hasan Tahsin Bostancı ve Dr. Öğretim Üyesi Resul Çömert'e teşekkür ederim.

Kaynakça

- Aleksandrov, M., Zlatanova, S., Kimmel, L., Barton, J., & Gorte, B. (2019). Voxel-Based Visibility Analysis For Safety Assessment Of Urban Environments. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 4.
- Alphan, H. (2021). Modelling potential visibility of wind turbines: A geospatial approach for planning and impact mitigation. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 152, 111675.
- Alsadik, B., Gerke, M., & Vosselman, G. (2014). Visibility analysis of point cloud in close range photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 2(5), 9.
- Amidon, E. L., & Elsner, G. H. (1968). Delineating landscape view areas... a computer approach. *Res. Note PSW-RN-180. Berkeley, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest Range Experiment Station*, 180.
- Brabyn, L. (2015). Modelling landscape experience using "experions". *Applied Geography*, 62, 210-216.
- Civicioglu, P., & Besdok, E. (2021). Bezier Search Differential Evolution Algorithm for numerical function optimization: A comparative study with CRMLSP, MVO, WA, SHADE and LSHADE. *Expert Systems with Applications*, 165, 113875.
- Karkinli, A., Kesikoğlu, A., Kesikoğlu, M., Atasever, Ü., Özkan, C., & Beşdok, E. (2015). İnsansız hava araçları ile sayısal arazi modeli üretimi. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VIII. Sempozyumu*, 21-23.
- Katz, S., Tal, A., & Basri, R. (2007). Direct visibility of point sets. In *ACM SIGGRAPH 2007 papers* (pp. 24-es).
- Kim, Y.-H., Rana, S., & Wise, S. (2004). Exploring multiple viewshed analysis using terrain features and optimisation techniques. *Computers Geosciences*, 30(9-10), 1019-1032.
- Klampfer, S., Mohorko, J., Čučej, Ž., & Chowdhury, A. (2011). Simulation of radio-visibility impact on the provided quality of service within the Wimax network. *Informacije MIDEA*, 41(3), 197-201.
- Leduc, T., & Hartwell, K. (2020). The automatic classification of urban open space by a pattern-matching method of the viewshed at intersections. *Environment Planning B: Urban Analytics City Science*, 47(6), 1065-1080.

- Lee, K. Y., Seo, J. I., Kim, K.-N., Lee, Y., Kweon, H., & Kim, J. (2019). Application of viewshed and spatial aesthetic analyses to forest practices for mountain scenery improvement in the Republic of Korea. *Sustainability*, 11(9), 2687.
- Mauro, C. M., & Durastante, F. (2020). Evaluating visibility at sea: Instrumental data and historical nautical records. Mount Etna from the Calabrian Ionian coast (Italy). *The Journal of Island Coastal Archaeology*, 1-22.
- Nutsford, D., Reitsma, F., Pearson, A. L., & Kingham, S. (2015). Personalising the viewshed: Visibility analysis from the human perspective. *Applied Geography*, 62, 1-7.
- Tandy, C. (1967). The isovist method of landscape survey. *Methods of landscape analysis*, 9-10.
- URL. (Son Erişim 10/08/2021). <https://raw.githubusercontent.com/grinsted/ImGRAFT/master/voxelviewshed.m>.
- Williamson, C. A., & McLin, L. N. (2015). Nominal ocular dazzle distance (NODD). *Applied Optics*, 54(7), 1564-1572.



Effect of Artificial Aging and Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of AA6082

Mehmet Şahbaz^{1*}

^{1*}Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6379-8345), mehmetshahbaz@kmu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.998077)

ATIF/REFERENCE: Şahbaz, M. (2021). Effect of Artificial Aging and Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of AA6082. *European Journal of Science and Technology*, (28), 300-305.

Abstract

In this study, the change of microstructure and mechanical properties of 6082 aluminium alloy as a result of heat treatment was examined. Materials selected as heat treatment are first annealed at 450 °C for 2 hours, so the residual stresses are eliminated and the grain structure is homogenized. Afterwards, the annealed samples were cooled in 3 different environments (by waiting in the oven, by air in the room environment, and in water in the room environment) and the effect of these environments was studied. In addition, by applying artificial aging specimens were prepared under four different conditions, and mechanical properties were examined by performing hardness and compression tests for these four different conditions, and microstructural properties were examined with the help of an optical microscope. As a result, the effects of post-annealing cooling rate and artificial aging on the material were determined and the connection between microstructural changes and mechanical properties was discussed in the context of the results obtained. Depending on the cooling rate and artificial aging, different grain structures and secondary phase precipitates were determined for each case in the microstructure examinations. In connection with this situation, the increase in the mechanical properties was observed with the increase of the cooling rate, and the highest increase was seen in the aged material.

Keywords: Artificial aging, Heat treatment, Compression test, Hardness test, Optical microscope.

Yapay Yaşlandırma ve Soğutma Hızının AA6082'nin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

Öz

Bu çalışmada 6082 alüminyum alaşımının ısı işlem sonucunda mikro yapı ve mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Isıl işlem olarak seçilen malzemeler önce 450 °C'de 2 saat tavlandı, böylece artık gerilmeler giderildi ve tane yapısı homojen hale getirildi. Daha sonra tavlanan numuneler 3 farklı ortamda (fırında bekleterek, oda ortamında hava ile ve oda ortamında su ile) soğutuldu ve bu ortamların etkisi incelendi. Ayrıca suni yaşlandırma da uygulanarak numuneler dört farklı koşulda hazırlanmış ve bu dört farklı koşul için sertlik ve basma testleri yapılarak mekanik özellikler incelenmiş ve optik mikroskop yardımıyla mikroyapısal özellikler incelenmiştir. Sonuç olarak, tavlama sonrası soğuma hızının ve yapay yaşlandırmanın malzeme üzerindeki etkileri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar bağlamında mikroyapısal değişimler ile mekanik özellikler arasındaki bağlantılar tartışılmıştır. Soğuma hızına ve suni yaşlandırmaya bağlı olarak her bir durum için farklı tane yapıları ve ikincil faz çökeltileri gözlemlenmiştir. Soğutma hızının artmasıyla mekanik özelliklerde artış gözlemlenmiş ve en yüksek artış da yapay yaşlandırılan malzemede görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay yaşlandırma, Isıl işlem, Basma testi, Sertlik testi, Optik mikroskop.

* Corresponding Author: mehmetshahbaz@kmu.edu.tr

1. Introduction

Aluminium alloys are the second most used metal in the world after iron and steel derivatives. It is possible to improve the casting or mechanical properties of aluminium that are not at the desired level in pure form, by alloying with the addition of metals such as copper, magnesium, silicon, and zinc. In addition, the strength of this material is increased by methods such as heat treatments, forging, rolling, and severe plastic deformation. Thus, a material with high strength relative to its weight is obtained, which is very important in the automotive and aviation industries. Moreover, aluminium and its alloys are a popular material that is increasingly used both in the industrial field and in our daily life due to its low density, high strength, easy workability, high thermal and electrical conductivity (Altenpohl et al., 1998; Özbeyaz et al., 2019; Şahbaz, Kentli, et al., 2020; Türkmen et al., 2015).

Due to the decreasing energy resources on a global basis in recent years, the use of automotive aluminium for fuel-saving has increased from 10% to 80%. According to the alloy materials of aluminium, some can be aged, while others are not suitable for this process. Some studies are carried out to determine the required temperature and time to ensure maximum efficiency from the aging process, and the most appropriate parameters are tried to be determined.

The 6000 series alloys (Al-Mg-Si alloys), which are among the age hardenable aluminium alloys, are the most commonly used in the extrusion industry and constitute more than 80% of the aluminium products produced by extrusion. These alloys are known for their good extrudability, high corrosion resistance, good weldability, the clean surface after hot forming, and low cost of processes applied to achieve moderate strength (Başer, 2015). AA 6082 aluminium alloy, which is one of the aging aluminium alloys, is one of the aluminium alloys that has been increasingly used in recent years. These alloys have high formability, plating properties, and mechanical values with heat treatment are significantly good (Başer, 2015; Demirpolat et al., 2021; Türkmen et al., 2015).

In this study, the change in the mechanical properties of AA 6082 alloy depending on the cooling rate after heat treatment will be examined. This work is especially important for the preparation of the material before the extrusion processes under

the recrystallization temperature. The rate of heat treatment and cooling rate is decisive in the application of the extrusion process and in the properties that the material will gain afterwards. Especially in Severe Plastic Deformation (SPD) processes, it is very important to prepare the material before the process, to apply the process, and to reach the desired level of microstructural and mechanical properties afterwards (Ögüt, Kaya, Kentli, & Uçar, 2021; Ögüt, Kaya, Kentli, Özbeyaz, et al., 2021; Şahbaz, Kaya, et al., 2020).

In addition, the artificial aging process will be applied to the annealed material and the change in material properties will be examined. The effects of applied heat treatments on the material microstructure will be examined and a connection will be made with the change in mechanical properties. Hardness and rarely used compression tests will be used in the determination of mechanical properties, and an optical microscope and image analysis will be used in microstructure examination.

2. Material and Method

For this study, AA6082, one of the most widely used aluminium alloys, was chosen. Although this alloy mostly contains Silicon (Si) and Magnesium (Mg) elements, its chemical composition is given in Table 1 below. The most important factor in the examination of this alloy is that 6000 series aluminium alloys are highly preferred in the production of products by extrusion and they are age hardenable alloys (Türkmen et al., 2015).

2.1. Heat Treatments

Cylindrical specimens with a diameter of 20mm were cut into pieces of 40mm length for compression testing and 20mm pieces for hardness testing and microstructure analysis. These samples were annealed in the heat treatment furnace at 450 degrees for 2 hours. Afterwards, 1 group was left to cool in the oven, 1 group was cooled in air, 2 groups were cooled in water. 1 group of water-cooled was artificially aged at 195 °C for 8 hours.

If the cooling rates of the samples are calculated according to the environments in which they are cooled, approximately the following values are obtained: 100 °C/sec for the water-cooled sample, 1°C/sec for air cooling, and 0.01 °C/sec for cooling in the furnace. Accordingly, these cooling environments can be named as fast, moderate, and slow cooling.

Table 1. Chemical composition of the AA6082 (%)

Aluminium Al	Chrome Cr	Copper Cu	Iron Fe	Magnesium Mg	Manganese Mn	Silicon Si	Titanium Ti	Zinc Zn	Other
95.2 - 98.3	0.25	0.10	0.50	0.60 - 1.2	0.40 - 1.0	0.70-1.3	0.10	0.20	0.50

2.2. Mechanical Tests

The test specimens were prepared in accordance with TSE 206 compression test standards, with dimensions of 20 mm diameter (D0) and 40 mm length (L0), and L0/D0=2 according to ASTM E9 – 89 (short sample) dimensions (Fig.1). These samples were subjected to the compression test with a strain rate of 0.05 mm/mm·d according to the standard (2mm/d) in Shimadzu brand AGS 100kN series electromechanical tensile-compression test device. All specimens were pressed up to 10 mm (until 25% strain change) and Stress-Strain and Force – Displacement curves were

obtained. In addition, necessary mechanical properties such as yield strength, maximum compression strength, and toughness were obtained from these curves.

The other samples, which were subjected to the same heat treatment, were first sandpapered gradually for the hardness test and then polished, thus the surface was prepared in order to obtain the most accurate result in the hardness test.



Figure 1. Specimens prepared from m AA6082 before compression test (right), after the test (left)

Hardness tests were performed using the Digirock-Rbov-M brand test device according to the Brinell method. In the hardness measurements, the preload was determined as 10 kgf, the total load was 62.5 kgf and the dwell time was 6 seconds. In addition, a 2.5mm diamond ball-tipped test device tip was used. At least 5 traces were taken for each measurement and the average was used as the final result.

2.3. Microstructural Analysis

Specimens prepared in four different thermal conditions for microstructure examination were first subjected to sanding with water cooling. The grinding process was performed at 300 rpm for 3 minutes, starting from 320 mesh with 800, 1200, and 2500 mesh SiC-containing sandpapers. Afterwards, polishing was done with 6 microns and 1-micron diamond solutions at the same speed and time. As a result of the polishing process, the sample surfaces have reached the level called mirror-like (Fig.2). For the etching process, the specimens were kept in Keller reagent (2ml HF + 3ml HCl + 5ml HNO₃ + 190ml Water) for 1 minute, then Weck's reagent was dripped and left for 30 seconds, rinsed with water, and dried with hot air.

Microstructure examinations were made using a Nikon Eclipse MA100 inverted optical microscope. Images of different sizes were taken from different parts of each sample and attention was paid to ensure that these images were representative of the whole microstructure.



Figure 2. The mirror-like surface of the polished specimens

3. Results and Discussion

As a result of the compression tests of the specimens prepared under different thermal conditions, the results given in the graphs and table below were obtained. In the tests conducted for four different situations, the results showed higher resistance than the others, which were cooled rapidly in water in the room environment (about 18 °C), as expected. Afterwards, the sample was cooled by natural convection air (20 °C) in the room environment, followed by the one cooled in the furnace. The

sample, on which artificial aging was applied as additional heat treatment, gained more mechanical properties in all of them, this is clearly seen in the graphic and table values.

As a result of the study, the yield strength, compressive strength, and toughness values of AA6082 Al alloy increased with the increase of the cooling rate. This situation emerged as a result of the decrease of grain size and the formation of smaller precipitates with the increase in cooling rate, or the presence of more free Mg and Si atoms in the solid solution. These results show similarity with the literature studies (Akyuz & Şenaysoy, 2014; Gündüz & Kaçar, 2008).

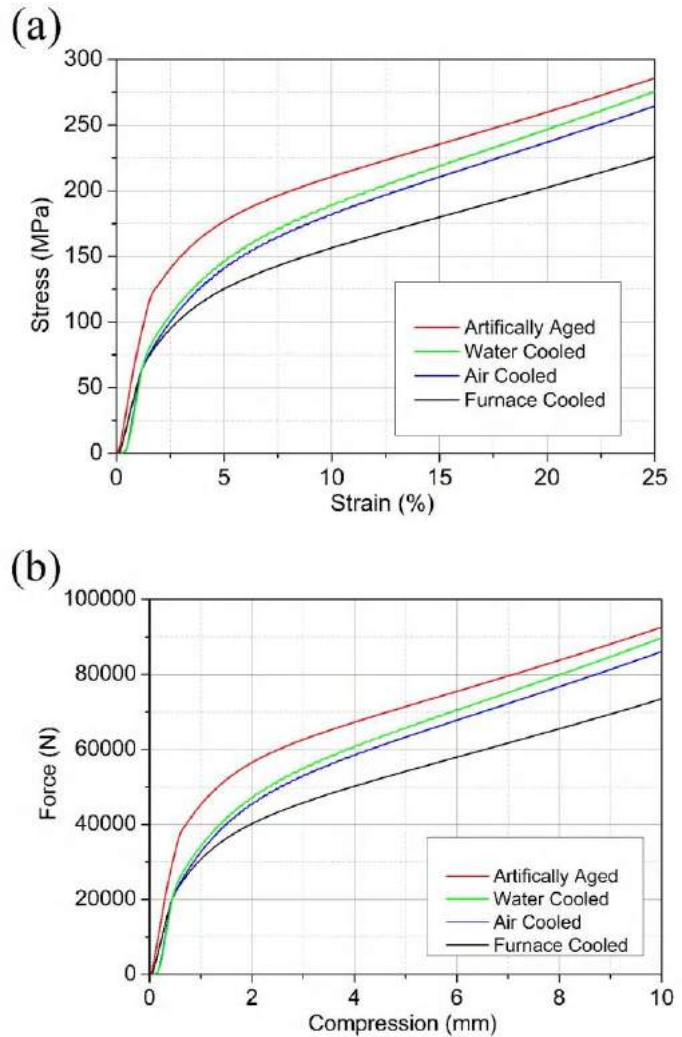


Figure 3. AA6082 compression test results a) Stress– Strain graph, b) Force - Compression graph

As seen in Figure 3, the strength values of the materials increase as the cooling rate increases after annealing. In this case, the lowest strength was observed in the material cooled in the furnace, while the highest strength was observed in the material cooled in water. In addition, more compression strength was measured in the artificially aged specimen upon cooling in water.

In this study, since 25% of the initial length of the specimens was compressed, the maximum compression strength was measured for this level. In Table 2, the strength, toughness and hardness values calculated at the end of the compression test are given.

Table 2. Measured mechanical properties of AA6082

	Yield Strength (MPa)	Maximum Compression Strength (MPa)	Toughness Energy (J)	Hardness (HB)
The cooled in the oven	73,63	233,93	516,37	32,7
The cooled in the air	73,45	274,13	596,63	37,2
The cooled in the water	81,59	285,71	620,35	39,1
Artificially Aged	115,96	294,82	682,88	48,9

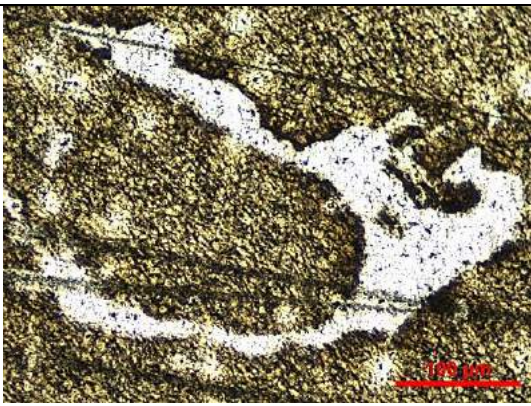
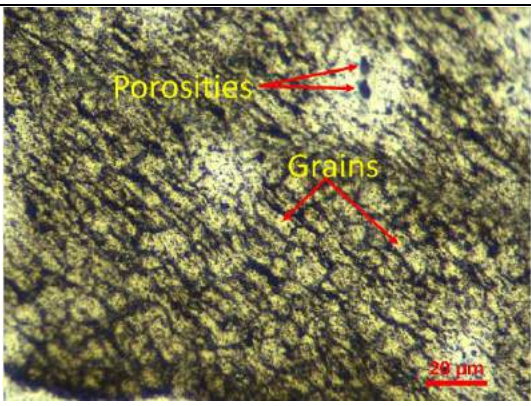
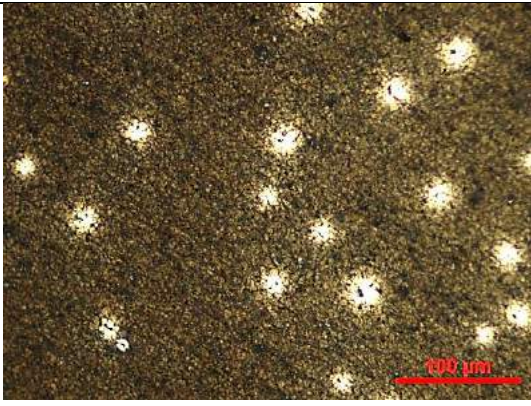
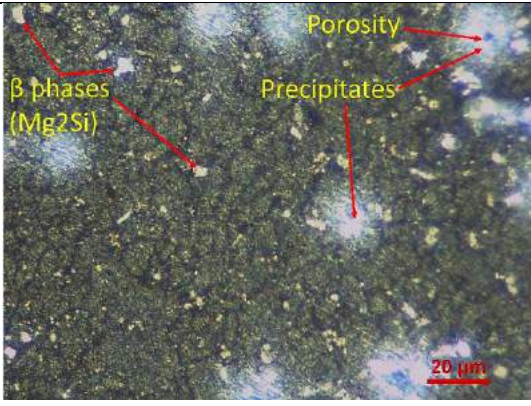
Optical microscope images of the microstructures of the tested specimens for all conditions are given in Table 3 at 20X and 50X magnifications.

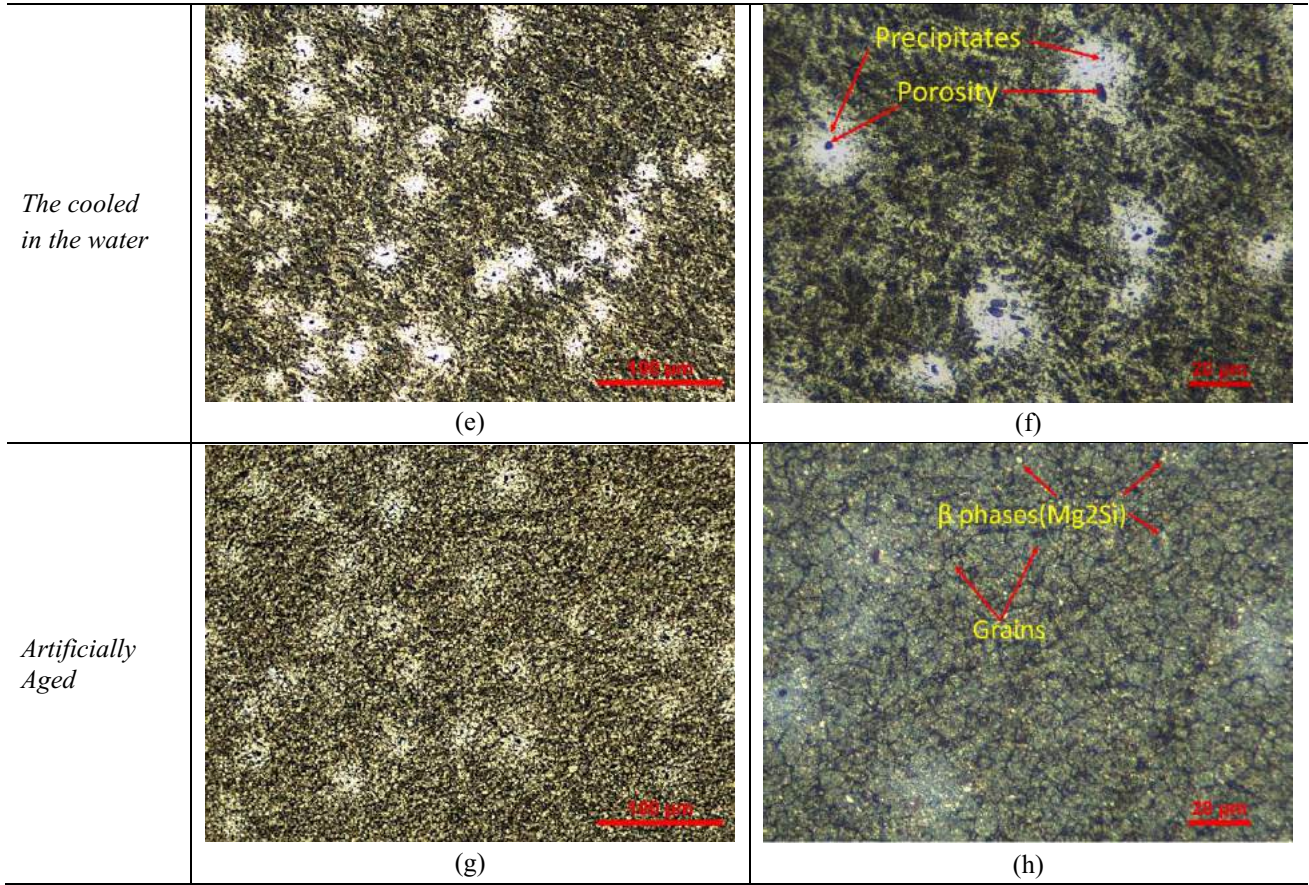
If the microstructure pictures are examined separately for each case, secondary elements (Mg-Si) due to slow cooling in the material cooled in the furnace recovered and formed the beta phase, which is defined as the Chinese script in the literature (Yuan et al., 2002; Zengin et al., 2019) (Table 3a). In the air cooled material case, it is seen that since the secondary phases could not find the time to fully recover, they precipitated between the grains in the form of small particles (Table 3d).

On the other hand, in the water cooled material case, large beta phases could not form due to sudden cooling, and small-sized secondary phases were concentrated in the pores resulting from the dendritic structure formed in the main material (Table 3f). As a result of the artificial aging process, it was obtained as desired, beta phases (those that appear bright in the grains of the main material) were formed smaller than alpha phases and were trapped inside the alpha phases (Özer, 2003) (Table 3h).

In addition, when the general table is examined, a decrease in grain size is observed depending on the cooling rate, and this is the factor that increases the strength of the material according to the Hall-Petch relation (Şahbaz et al., 2019).

Table 3. Optical microscope images of the microstructures

	20X magnification (100µm scale)	50X magnification (20µm scale)
The cooled in the oven	 (a)	 (b)
The cooled in the air	 (c)	 (d)



4. Discussion

1. AA6082 alloy was found to have the lowest compression strength, yield strength, and hardness with the cooling in the furnace after annealing at 450 °C for 2 hours. This is an indication that the material grain size grows and secondary phase precipitates such as Mg₂Si become coarser as a result of slow cooling.

2. With the increase in the cooling rate of 6082 aluminium alloy, which was annealed at 450 °C for 2 hours and cooled in different environments, a decrease was observed in the grain size and a decrease in the dimensions of the precipitate. However, the yield strength, compression strength, and hardness of the samples increased with the increase in cooling rate.

3. In these experimental studies, it was observed that the sample cooled in water environment gained the highest strength and hardness compared to the samples cooled in other environments. While these values increased with the aging process applied to this sample, significant improvements were observed in the microstructure of the material.

4. Annealing is a method that is widely applied to the material, especially before the Severe Plastic Deformation (SPD) applications. In SPD applications, it is desirable that the secondary phases precipitate at the grain boundary as well as reducing the grain size in order to increase the strength (Günay Bulutsuz & Chrominski, 2021). The findings obtained from this study showed that: since the secondary phase precipitations are in the form of small particles in air-cooled samples, the desired situation is achieved with a few passes.

5. Since the secondary phase dimensions are huge in the sample cooled in the furnace, breaking them to the desired dimensions requires a high number of passes in the SPD process.

6. In the sample cooled in water, since the secondary phase dimensions are very small, although it precipitates at the grain boundary, it cannot provide the desired effect, namely the increase in the dislocation density, at the desired level. In addition, increasing strength and hardness values will complicate the SPD process.

7. In the aging sample, the hardness and strength have increased, in this case, the application of SPD has become difficult, and high strength and a mould to withstand it are required for the process. If these obstacles are overcome, the beta phases trapped in the alpha phase precipitate at the grain boundaries, and the desired result can be obtained in the aged sample. Otherwise, the application of the aging process after the SPD process may cause an improvement in the microstructure of the material and increase its mechanical properties.

5. Conclusions

In this study, AA6082 aluminium alloy was annealed at 450 °C for 2 hours, cooled at different cooling rates (100 C/sec, 1 C/sec, and 0,01 C/sec), and then artificial aging process was applied.

Due to the slow cooling rate in the (slow) cooling sample in the furnace, the beta phases found time to recover and precipitate. While this situation is partially visible on the sample that cools in the air (moderately), it is not possible to see this situation in the sample that cools down (fast) in water. Due to the high cooling rate in the sample cooled in water, secondary phases such as

Mg₂Si could not recover and precipitated around the pores. In addition, the grains of the parent material remained small, could not become circular, and formed a dendritic structure. This increased the compressive strength and hardness values as it decreased the intergranular flexibility and increased the dislocation density.

In order to see the effect of artificial aging, when the microstructure of the sample aged at 195 °C for 8 hours is examined, it is seen that the pores decrease and the grain size decreases. In addition, it was observed that the secondary phases decreased in size and took place in the main material grains. This situation has increased the compressive strength and hardness of the material by positively affecting the mechanical properties of the material.

References

- Akyuz, B., & Şenaysoy, S. (2014). Alüminyum Alaşımında Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerindeki Etkisi Effect of Aging on Mechanical Properties and Machining on Aluminum Alloys. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2330(1), 1–9. <http://edergi.bilecik.edu.tr/index.php/fbd>
- Altenpohl, D., Das, S. K., & Kaufman, J. (1998). Aluminium Technology, Applications and Environment: A Profile of a Modern Metal Aluminum from Within. In *Aluminum: Technology, Applications, and Environment - TMS*. Aluminum Association.
- Başer, T. A. (2015). Effect of aging parameters on the mechanical properties of naturally aged Al-Mg-Si alloy. *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 46(8), 829–834. <https://doi.org/10.1002/mawe.201500342>
- Demirpolat, H., Akdı, S., & Alkan, B. (2021). The Effect of Homogenization and Chemical Compositions of 6005 and 6082 Aluminium Alloys on The Cold Forming Process. *European Journal of Science and Technology*, 28(28), 16–20. <https://doi.org/10.31590/ejosat.973063>
- Günay Bulutsuz, A., & Chrominski, W. (2021). Incremental Severe Plastic Deformation Effect on Mechanical and Microstructural Characteristics of AA6063. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 74(1), 69–77. <https://doi.org/10.1007/s12666-020-02122-4>
- Gündüz, S., & Kaçar, R. (2008). Strengthening of 6063 aluminium alloy by strain ageing. *Kovove Materialy*, 46(6), 345–350. <https://www.researchgate.net/publication/285590175>
- Öğüt, S., Kaya, H., Kentli, A., Özbeyaz, K., & Şahbaz, M. (2021). Investigation of Strain Inhomogeneity in Hexa-ECAP Processed AA7075. *Arch. Metall. Mater*, 66, 431–436. <https://doi.org/10.24425/amm.2021.135875>
- Öğüt, S., Kaya, H., Kentli, A., & Uçar, M. (2021). Applying Hybrid Equal Channel Angular Pressing (HECAP) to pure copper using optimized Exp.-ECAP die. *PREPRINT*. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-371053/V1>
- Özbeyaz, K., Kaya, H., Kentli, A., Şahbaz, M., & Öğüt, S. (2019). Mechanical properties and electrical conductivity performance of ECAP processed AA2024 alloy. *Indian Journal of Chemical Technology*, 26(26), 266–269.
- Özer, H. H. (2003). 7075 alüminyum alaşımında retrogresyon ve yeniden yaşlandırma ısıl işlemi sonucu mekanik özelliklerin incelenmesi. <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/9932>
- Şahbaz, M., Kaya, H., & Kentli, A. (2020). A new severe plastic deformation method: thin-walled open channel angular pressing (TWO-CAP). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(3–4), 1487–1496. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04748-1>
- Şahbaz, M., Kaya, H., Kentli, A., Uçar, M., Öğüt, S., & Özbeyaz, K. (2019). Experimental Comparison of Al5083 Alloy Subjected to Annealing and Equal-Channel Angular Pressing. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 5(1), 52–55. <https://doi.org/10.22399/IJCESEN.394542>
- Şahbaz, M., Kentli, A., & Kaya, H. (2020). Performance of Novel TWO-CAP (Thin-Walled Open Channel Angular Pressing) Method on AA5083. *Metals and Materials International*. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00594-8>
- Türkmen, M., Akdemir, O., Taşpınar, Y., Yıldız, M., & Gündüz, S. (2015). The Effect of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of Al-Mg-Si (6063) Alloy. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(1), 11–14. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.30075>
- Yuan, G. Y., Liu, Z. L., Wang, Q. D., & Ding, W. J. (2002). Microstructure refinement of Mg-Al-Zn-Si alloys. *Materials Letters*, 56(1–2), 53–58. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(02\)00417-2](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(02)00417-2)
- Zengin, H., Turen, Y., Ahlatçı, H., Sun, Y., & Karaoğlanlı, A. C. (2019). Influence of Sn addition on microstructure and corrosion resistance of AS21 magnesium alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 29(7), 1413–1423. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(19\)65048-X](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(19)65048-X)



Modifiye MWCNT/CuO Nanokompozitlerinin Optik Özellikleri ve Elektriksel İletkenlikleri Üzerine Non-iyonik Sürfektanın Etkisi

Filiz Boran^{1*}

^{1*} Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4315-9949), filizbektas@hitit.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.998137)

ATIF/REFERENCE: Boran, F. (2021). Modifiye MWCNT/CuO Nanokompozitlerinin Optik Özellikleri ve Elektriksel İletkenlikleri Üzerine Non-iyonik Sürfektanın Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 306-311.

Öz

Önceden sentezlenen CuO nanoparçacıklarının ve MWCNT/CuO nanokompozitlerinin yapısal ve optik özellikleri üzerine farklı türev (polietilen glikol metil eter metakrilat) (PEGMEMA) ve moleküler ağırlıklara (Mw: 200, 2000 ve 5000) sahip polietilen glikol (PEG) noniyonik sürfektan kullanılmasının etkisi, X-ışını kırınımı (XRD), Enerji Dağılım X-Işınları analizi (EDS) ve UV-vis spektrofotometre ile kapsamlı bir şekilde araştırıldı. Bu örneklerin elektriksel iletkenlikleri iki nokta prob tekniği kullanılarak ölçüldü. Örneklerin X-ışını kırınım spektroskopisi verilerinden CuO nanoparçacıklarının ve MWCNT/CuO nanokompozitlerinin sırasıyla %36,7-44,6 ve %19,9-20,7 kristaliniteye sahip oldukları belirlendi. UV-vis spektrofotometre ölçümleri, non iyonik sürfektan kullanılması ile CuO nanoparçacıklarının ve MWCNT/CuO nanokompozitlerinin sırasıyla 4,24-4,31 eV ve 4,24-4,35 eV aralıklarında yüksek enerji bant aralıklarına sahip olduklarını göstermektedir. PEGMEMA kullanılması ile CuO nanoparçacıklarının ve MWCNT/CuO nanokompozitlerinin elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla $3,75 \times 10^{-5}$ 'den $7,93 \times 10^{-5}$ S/cm'e ve 55,75'den 86,25 S/cm'e artırılarak önemli ölçüde iyileştirildiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: CuO, Elektriksel İletkenlik, Enerji bant aralığı, Enkapsülasyon, Kristalinite, MWCNT.

Effect of Non-ionic Surfactant on Optical Properties and Electrical Conductivity of Modified MWCNT/CuO Nanocomposites

Abstract

The effect of using polyethylene glycol (PEG) nonionic surfactant with different derivatives (polyethylene glycol methyl ether methacrylate) (PEGMEMA) and molecular weights (Mw: 200, 2000 and 5000) on the structural and optical properties of previously synthesized CuO nanoparticles and MWCNT/CuO nanocomposites was extensively investigated via X-ray diffraction (XRD), Energy Dispersion X-Ray analysis (EDS) and UV-vis spectroscopy. The electrical conductivity of these samples was measured using the two-point probe technique. From the X-ray diffraction spectroscopy data of the samples, it was determined that CuO nanoparticles and MWCNT/CuO nanocomposites had crystallinity of 36.7-44.6% and 19.9-20.7%, respectively. UV-vis spectrophotometer measurements showed that CuO nanoparticles and MWCNT/CuO nanocomposites had high energy band gaps in the range of 4.24-4.31 eV and 4.24-4.35 eV, respectively, with the use of non-ionic surfactant. It can be said that the electrical conductivity values of CuO nanoparticles and MWCNT/CuO nanocomposites were significantly improved by using PEGMEMA from 3.75×10^{-5} to 7.93×10^{-5} S/cm and from 55.75 to 86.25 S/cm, respectively.

Keywords: CuO, Electrical Conductivity, Energy band gap, Encapsulation, Crystallinity, MWCNT.

* Sorumlu Yazar: filizbektas@hitit.edu.tr

1. Giriş

Karbon nanotüpler (CNT'ler), eş merkezli silindirik düzlemlerin aksel hizasında eğri sp^2 hibritli karbon atomlarının düzenlenmesinden oluşan tüp şeklinde altıgen halkalara sahip nanoyapılardır. Bu tüplerin uzunlukları milimetrelere ulaşabilir ve “nanometre ölçeğinde” çapları vardır. Başta mükemmel mekanik ve elektriksel iletkenlik özellikleri olmak üzere, yüksek uzunluk/çap oranı, yüksek mukavemet, mükemmel akım taşıma kabiliyeti, geniş spesifik yüzey alanı, iyi parçacık emilimi ve yüksek kimyasal stabilitesi gibi olağanüstü yapısal, mekanik ve elektronik özellikleri nedeniyle CNT'ler birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir [1–4].

Dikkate değer içsel özellikleri ve geniş potansiyel uygulamaları yelpazesi nedeniyle büyük ilgi gören CNT'lerin kullanımı için en ilginç fırsatlardan biri nanokompozitlerde yatmaktadır [5]. CNT'ler, az miktarda CNT yüklemesi ile üretilen nanokompozitlerin mekanik özelliklerinde iyileşmenin yanı sıra önemli elektriksel iletkenlik sağlayabildiğinden önemli bir ilgi kazanmıştır [6].

İnorganik yarı iletken nanoyapılar, gaz algılayıcısı, inorganik kirleticilerin çıkarılması için katalizör, süperkapasitör ve saha emisyon cihazlarının yer aldığı mükemmel geniş uygulama yelpazesi nedeniyle CNT duvarının dekorasyonunda büyük dikkat çekmektedir [7]. Bu sebeple, son yıllarda, fonksiyonel CNT'lerin TiO_2 , ZnO , ZnS , In_2O_3 , SnO_2 , $CdSe$, CdS ve CuO gibi yarı iletken metal oksitler ile modifiye edilmesine yönelik birçok çaba gösterilmiştir [7,8]. Bu yarı iletken nano yapılar arasından, foto iletken ve fotokimyasal özellikleri nedeniyle umut verici bir malzeme olan bakır oksit (CuO), 1,2 eV'luk dar bant aralığı ve 6,5 eV çalışma fonksiyonu ile düşük elektriksel direnç değerleri olan p-tipi yarı iletkenlik sergiler [4,7]. CuO , süperkapasitör, Li-iyon batarya, fotokataliz, gaz sensörü, süperhidrofobik yüzeyler, saha emisyon cihazları dahil olmak üzere çeşitli alanlardaki çeşitli uygulamalarda dikkat çekmektedir [7]. Bu uygulamalar arasından ayrıca, CuO nanoparçacıkları, yüksek dislokasyon konsantrasyonları ve geniş yüzey alanları nedeniyle özel katalitik etki gösterebilirler için katalizör olarak da kullanılabilirler [9]. Bu sebeplerle, CuO nanoyapılarını CNT gibi yüksek iletkenlik malzemelerle dekore etmek anlamlıdır [2] ve CuO ile CNT kombinasyonu, üstün özelliklere sahip yeni birçok işlevli malzeme yaratacaktır [7].

CNT'ler içi boş tübüler morfolojisi iç kısımlarında çok çeşitli bileşiklerin kapsüllenmesine imkan sunarken, dış duvarların modifikasyonu kompozit malzemelerden enerji alanına, ilaç dağıtımına kadar uygulama alanlarını daha da genişletir. Ancak, tam potansiyellerinden yararlanmak için bazı engellerin aşılması gerekmektedir. Üretilen CNT'ler tipik olarak birkaç on mikrometreye kadar uzunluklara sahiptir ve güçlü hidrofobiklik sergiler, böylece işlenebilirliklerini sınırlar. Kısa ve fonksiyonel nano tüpler daha yüksek bir dağılılırılık ve biyouyumluluk gösterir ve bu nedenle hedeflenen bazı uygulamalar için tercih edilir [10,11]. Fulleren C_{60} türevleri, su ve metal halojenür kristalleri gibi bir takım maddeler kanalların içine yerleştirilebilir. Kanallardaki uzamsal sınırlamalar nedeniyle CNT'nin içerisine yerleştirilen maddelerin özelliklerinde değişiklikler gözlenmektedir. Dolayısıyla, eğer metal katalizörler CNT'lerin içine getirilirse, yapıları ve elektronik özellikleri, CNT'lerin dış yüzeyinde bulunan katalizörlerden farklı bir şekilde etkilenebilir. Yapılan çalışmalar geçiş metallere redoks özelliklerinin CNT'ler içinde değiştirildiğini ve modifikasyon derecesinin

nanotüplerin iç çaplarına bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, CNT'lerin içinde veya dışında tek tip bir boyuta sahip metal nanokatalizörlerin seçici olarak dağılması, şu ana kadar büyük bir zorluktur ve bu, katalizörlerin aktivitesini güçlü bir şekilde etkileyebilir [11].

Yukarıda belirtilenler ışığında, bu çalışmada termal stres ile modifiye edilen MWCNT'lerin kanalları içerisine, farklı molekül ağırlıklarına sahip polietilen glikol (PEG) noniyonik sürfaktanları ve PEG'ün farklı bir türevi olan polietilen glikol metil eter metakrilat (PEGMEMA) kullanılarak sentezlenen CuO nanoyapılarının enkapsüle edilmesiyle önceden hazırlanan MWCNT/ CuO nanokompozitlerinin [12] elektriksel iletkenlik özellikleri incelendi. Bu amaçla, öncelikle sentezlenen örneklerin kristallinite dereceleri XRD analiz verilerinden, tahmini enerji bant aralığı UV-vis spektroskopisinden ve MWCNT yapısına katılan CuO miktarı EDS analizi ile belirlendi.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılacak olan örnekler, termal stres ile modifiye edilen MWCNT'lerin kanalları içerisine, farklı molekül ağırlıklarına sahip PEG noniyonik sürfektanları ve PEG'ün farklı bir türevi PEGMEMA kullanılarak sentezlenen CuO nanoyapılarının enkapsüle edilmesiyle önceki çalışmamızda hazırlanmıştır [12]. Bu prosedüre göre, ticari MWCNT'ler $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılmış kül fırınında 10 dakika bekletme ve 12 dakika oda sıcaklığında soğutma işlemi üç kez tekrarlanarak termal stres ile işlevselleştirildi. Farklı türevi PEGMEMA ve farklı moleküler ağırlıklara (Mw: 200, 2000 ve 5000) sahip PEG noniyonik sürfektan kullanılarak sentezlenen CuO nanoparçacıklar (CuO -PEGx, x: PEG'ün moleküler ağırlığı), ıslak emprenye tekniği ile modifiye MWCNT'nin kanalları içerisine kapsüllendi.

Sentezlenen örneklerin Enerji Dağılım X-Işınları analizi (EDS) ZEISS marka EVO 40 Model SEM (Taramalı elektron mikroskobu) cihazı kullanılarak yapıldı. Bu analiz ile yapıdaki C ve CuO miktarı yüzde cinsinden kalitatif olarak belirlendi. UV-vis spektrofotometresi kullanılarak örneklerin süspansiyonlarının absorpsansını incelemek için 200 ila 600 nm dalga boyu aralığında UV-görünür spektrumları alınmıştır. Örneklerin süspansiyonları pH 7'de 0,1 M fosfat buffer çözeltisinde hazırlanmıştır. Ayrıca nanokompozitlerinin kristallığı, X-ışını kırınımı (XRD) spektroskopisi verileri kullanılarak (Rigaku DMAX IIIIC, 35 kW, 15 mA, $CuK\alpha$, $1,541871\text{ }^\circ\text{A}$, 2θ : $5\text{--}80^\circ$, tarama hızı: $2\text{ }^\circ/\text{dk}$) belirlenmiştir. Nanokompozitlerin kristallik derecesi (% XC) Eşitlik 1 ile hesaplandı.

$$Xc (\%) = \frac{A_c}{A_t} \times 100 \quad (1)$$

Burada A_c ve A_t sırasıyla kristal tepe noktalarının altındaki ve tüm tepe noktalarının altındaki entegre alanı göstermektedir [13].

Sentezlenen örneklerin elektriksel iletkenliği, elde edilen numune peletinin, oda sıcaklığında bir Thurlby elektrometresi ile standart iki nokta prob (two point probe) tekniği kullanılarak kapalı test odasına tabi tutulmasıyla ölçüldü. Elde edilen toz ürünlerin peletleri, 3 dakika boyunca 10 t basınçta vakumlu pres altında tutularak hazırlandı [14–16]. Düzlem içi elektriksel iletkenlik aşağıdaki formülle hesaplandı:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{(R \times t)} (S/cm) \quad (2)$$

Burada, ρ elektriksel özdirenç, R elektriksel direnç ve t örnek kalınlığıdır [17].

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

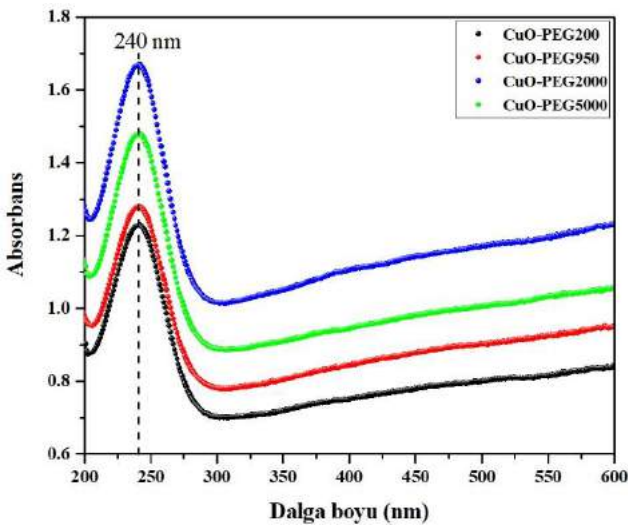
3.1. Bulgular

Sentezlenen CuO nanoparçacıklarının ve bu nano yapıların modifiye MWCNT ile hazırlanan nanokompozitlerinin kristallik dereceleri (Xc) Tablo 1'de listelenmiştir. CuO nano yapılarının farklı moleküler ağırlığa sahip PEG ve PEG'ün farklı bir türevi PEGMEMA kullanılarak sentezlenmesiyle kristallik derecelerinin bir miktar değiştiği görülmektedir. Çok düşük ve çok yüksek moleküler ağırlığına sahip PEG kullanımı ile kristallik dereceleri en yüksek değerlere ulaşmıştır. Farklı sürfaktanların kullanılması farklı boyutlarda CuO nano yapılarının sentezlenmesiyle sonuçlanırken bu durumun kristallik derecelerini etkilediği Tablo 1'den açıkça görülebilmektedir. Ancak, bu durum sentezlenen nanokompozitlerin kristallik derecelerini etkilemezken, MWCNT'nin yapıya eklenmesiyle kristallik dereceleri CuO nano yapılarına göre azalmıştır.

Tablo 1. Örneklerin XRD verilerinden hesaplanan kristallik dereceleri

Örnekler	Xc (%)
CuO-PEG200	44,6
CuO-PEG950	36,7
CuO-PEG2000	39,3
CuO-PEG5000	44,2
CNT-M-CuO-PEG200	19,9
CNT-M-CuOPEG950	20,6
CNT-M-CuOPEG2000	20,7
CNT-M-CuOPEG5000	20,6

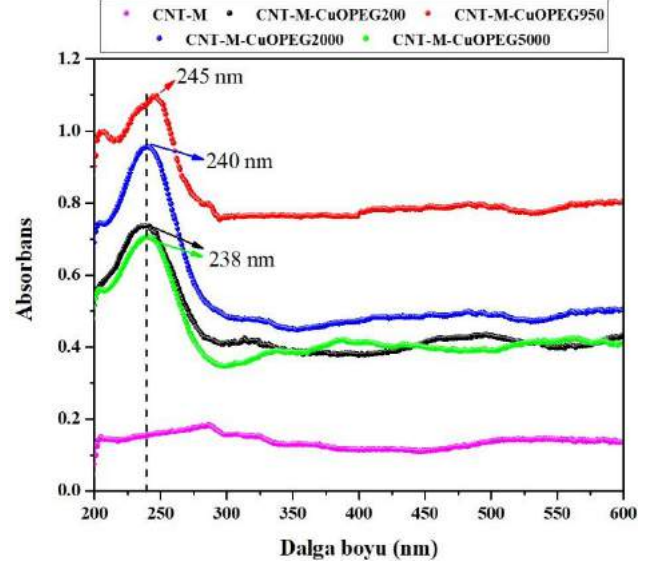
UV-Vis spektroskopisi, nanomalzemelerin tanımlanması için potansiyel bir ölçüdür [18]. Modifiye MWCNT yapısına katılan CuO nanoparçacıklarını daha fazla araştırmak için, hazırlanan örneklerin çözeltileri UV absorpsiyon spektrumu ile karakterize edilmiştir.



Şekil 1. CuO nanoparçacıklarının UV-vis absorpsiyon spektrumları

Fosfat tamponundaki farklı numunelerin UV absorpsiyon spektrumları Şekil 1 ve 2'de gösterilmektedir. CuO'lerin yapısından kaynaklanan yaklaşık 240 nm'de bariz bir absorpsiyon zirvesi ortaya çıkmıştır. CuO nanoparçacıklarının

sentezlenmesinde PEG ve PEGMEMA'nın kullanılmasının sadece absorpsiyon pikinin şiddetini değiştirdiği Şekil 1'den anlaşılmıştır. Şekil 2'de gösterilen CNT-M-CuO örneklerinin absorpsiyon pikleri incelendiğinde ise, MWCNT'nin sulu ortamdaki zayıf stabilitelerinden dolayı UV-görünür bölgede herhangi bir tepe göstermediği [19] ancak CuO nanoparçacıklarına göre absorpsiyon pikinde kayma gösteren kompozitlerin CNT-M'nin yapıya ilave edilmesinden etkilendiği düşünülmektedir. Bu sonuca göre CuO nanoparçacıklarının MWCNT'lerin yapısına katıldığı söylenebilir.

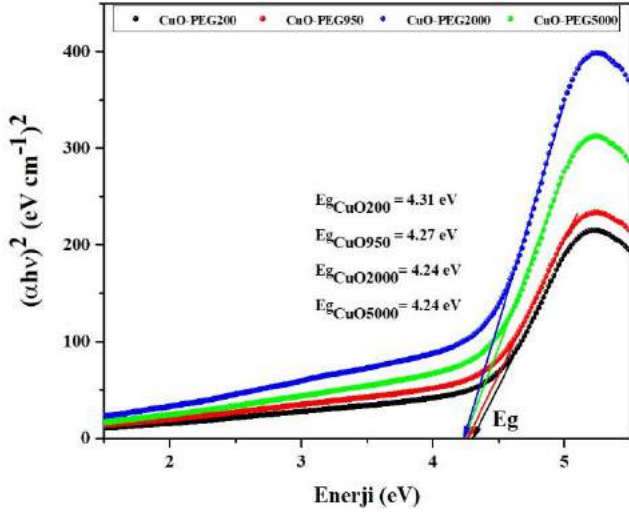


Şekil 2. CNT-M-CuO nanokompozitlerinin UV-vis absorpsiyon spektrumları

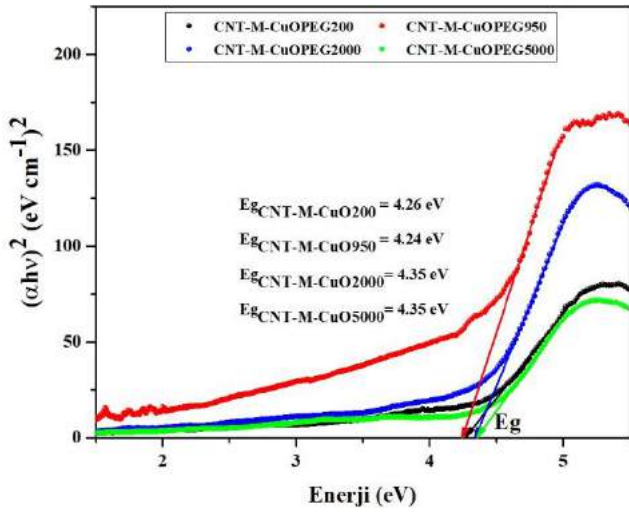
Sentezlenen CuO nanoparçacıklarının ve CNT-M-CuO nanokompozitlerinin optik enerji bant aralıkları, Kubelka-Munk denklemine (Eşitlik 3) göre $(\alpha hv)^2$ 'ye karşı hv grafiğinin kullanılabileceği Tauc grafiği (Şekil 3-4) ile tahmin edilmiştir.

$$(\alpha hv)^2 = B(hv - Eg) \quad (3)$$

Burada, α absorpsiyon katsayısı, h Planck sabiti, v fotonun frekansı, Eg optik enerji bant aralığı ve B bir sabittir [20,21]. Örneklerin optik bant aralığı değerlerini belirlemek için deneysel eğrilere uyacak şekilde düz çizgiler çizilmiş ve bu çizgiler (hv) eksenini kesecek şekilde uzatılmıştır [22]. Şekil 3'de gösterildiği gibi, farklı moleküler ağırlığa sahip PEG ve PEGMEMA kullanılarak sentezlenen CuO nanoparçacıklarının tahmini optik enerji bant aralığının 4,24 eV ile 4,31 eV aralığında değiştiği belirlenmiştir. Yapıya MWCNT'nin ilavesi ile nanokompozitlerin tahmini optik enerji bant aralıklarının 4,24 eV ile 4,35 eV aralığında değiştiği (Şekil 4) ve CuO nanoparçacıklarının optik enerji bant aralıklarını etkilemediği belirlenmiştir. Bu çalışmada farklı moleküler ağırlığa sahip PEG ve PEGMEMA kullanılarak sentezlenen CuO nanoparçacıklarının ve CNT-M-CuO nanokompozitlerinin optik özellikleri literatürle kıyaslandığında oldukça yüksek bant aralıklarına sahip oldukları görülmektedir [20,23-29]. Bu durum, nanomalzemelerin sahip olduğu boyuta bağlı optik özelliklerle sonuçlanan metal oksit yarı iletken malzemelerin nano boyutlu morfolojisinden kaynaklanan kuantum boyutu sınırlama etkilerine atfedilir [20,24].



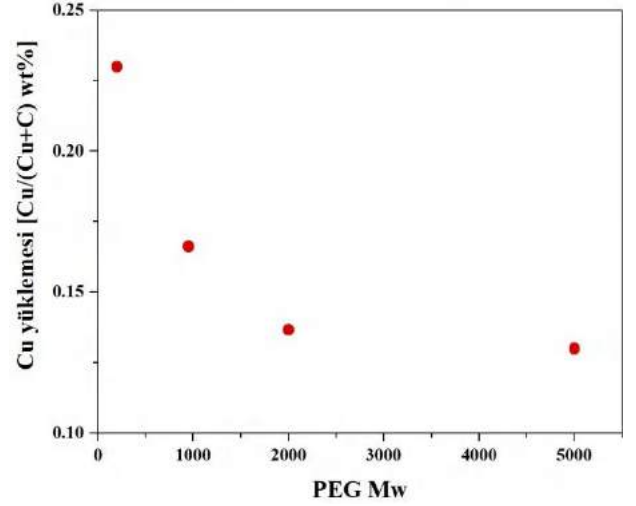
Şekil 3. CuO nanoparçacıklarının Kubelka–Munk (K–M) fonksiyonu ile Tauc eğrileri ve tahmini bant aralıkları



Şekil 4. CNT-M-CuO nanokompozitlerinin Kubelka–Munk (K–M) fonksiyonu ile Tauc eğrileri ve tahmini bant aralıkları

Şekil 5'de önceki çalışmamızda verilen EDS sonuçlarından [12] elde edilen verilerle modifiye MWCNT yapısına katılan CuO miktarı, Cu yüklemesi hesaplanarak analiz edilmiştir [30]. modifiye MWCNT'nin yapısına katılan Cu miktarı farklı tür ve moleküler ağırlığa sahip PEG kullanılarak farklı boyutlarda elde edilen CuO nanoyapılarına göre değişmiş ve kullanılan sürfektanın moleküler ağırlığı arttıkça modifiye MWCNT'nin yapısına katılan Cu miktarının azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar önceki çalışmamızda verilen SEM ve R-TEM sonuçları [12] ile karşılaştırıldığında en büyük parçacık boyutlarına sahip CuOPEG-200 nanoyapısı büyük boyutlarından dolayı modifiye MWCNT yüzeyinde çok fazla yığılmalara ve yer kaplamalara sebep olmuştur. Bu nedenle modifiye MWCNT kanallarına içerisine enkapsüle olamamış ve üzerine yerleşmiştir. Daha küçük parçacık boyutlarına rağmen modifiye MWCNT kanallarına az sayıda ve homojen olmayan şekilde enkapsüle olan CuO-PEG2000 ve CuO-PEG-5000 nanoyapılarının modifiye MWCNT yapısına daha az oranda katıldığı görülmektedir. Ancak PEGMEMA ile hazırlanan, önceki çalışmamızda verilen R-TEM sonuçlarına [12] göre en küçük ortalama parçacık boyutuna sahip CuO-PEG950 nanoyapısının uniform bir şekilde modifiye MWCNT kanallarına enkapsüle olması sebebiyle modifiye MWCNT yapısındaki Cu miktarı yüksek çıkmıştır.

e-ISSN: 2148-2683



Şekil 5. EDS kullanılarak ölçülen modifiye MWCNT numunelerinde PEG'ün moleküler ağırlığına göre bakır yüklemesi

Malzemelerin elektriksel iletkenliği, sentez parametreleri, kimyasal bileşimi, saflığı ve film kalınlığı, kristalit boyutu ve malzemelerin morfolojisi gibi yapısal faktörlerin değiştirilmesiyle etkilenebilir [16]. Dolayısıyla, nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik gibi fiziksel özellikleri, CNT'lerin kompozitlerdeki dağılım durumuna güçlü bir şekilde bağlıdır. CNT'lerin yönlendirilmesi, CNT oryantasyonu yönünde nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik özelliklerini iyileştirebilir [6]. Ayrıca, CNT'lerin elektronik iletim kabiliyetinin CuO'dan daha üstün olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla CNT'ler yüksek iletken kanal olarak ve CuO düşük iletken kanal olarak davranır. Bu nedenle, CNT-CuO nanokompozitlerinin direnci büyük ölçüde CuO nanoyapılarının direncine de ayrıca bağlıdır [31].

Tablo 2. Örneklerin elektriksel iletkenlik değerleri

Örnekler	İletkenlik (S/cm)
Ticari MWCNT	89,25
Modifiye MWCNT	100
CuO-PEG200	$3,75 \times 10^{-5}$
CuO-PEG950	$7,93 \times 10^{-5}$
CuO-PEG2000	$5,43 \times 10^{-5}$
CuO-PEG5000	$4,2 \times 10^{-5}$
CNT-M-CuO-PEG200	55,75
CNT-M-CuOPEG950	86,25
CNT-M-CuOPEG2000	75,75
CNT-M-CuOPEG5000	71,5

Ticari MWCNT, termal stres ile modifiye edilen MWCNT, sentezlenen CuO nanoparçacıkları ve bu nanoyapıların modifiye MWCNT ile hazırlanan nanokompozitlerinin oda sıcaklığında ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 2'de listelenmiştir. CuO nanoyapılarının farklı moleküler ağırlığa sahip PEG ve PEG'ün farklı bir türevi PEGMEMA kullanılarak sentezlenmesiyle elektriksel iletkenlik değerlerinin değiştiği görülmektedir. Farklı sürfektanların kullanılması farklı boyutlarda CuO nanoyapılarının sentezlenmesiyle sonuçlanırken bu durumun elektriksel iletkenliği etkilediği Tablo 2'den açıkça görülebilmektedir. Bu durum sentezlenen nanokompozitlerin elektriksel iletkenliğine de yansımıştır. Ticari MWCNT'nin termal olarak modifiye edilmesi, literatürde benzer sonuçlara

rastlanıldığı gibi [32] MWCNT'nin elektriksel iletkenliğinin 100 S/cm değerine artmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, modifiye MWCNT kanallarının içerisine en iyi şekilde enkapsüle olduğu bildirilen CNT-CuOPEG950 nanokompoziti ile 86,25 S/cm değerinde en yüksek elektriksel iletkenliğe ulaşılmıştır.

3.2. Tartışma

Sentezlenen CuO nanoparçacıklarının modifiye MWCNT'lerin yapısına katıldığı XRD, EDS ve UV-Vis spektroskopisi analizi ile belirlenmiştir. UV-Vis spektroskopisi analiz sonuçları Ran ve arkadaşları tarafından Fe₃O₄ nanoparçacıklarının MWCNT yapısına katıldığını gösteren benzer sonuçlar sergilemektedir [33]. Hussain ve arkadaşları, sentezledikleri CuO ve MWCNT ile kompozitinin tahmini optik band enerji aralıklarının sırasıyla 3,5 ve 3,7 eV olarak belirlediklerini bildirmişlerdir [23]. Bu çalışmada sentezlenen örneklerin ölçülen tahmini bant aralığı enerjisi ise 4,24-4,35 eV aralığında değişmektedir. Farklı moleküler ağırlığa sahip PEG ve PEG'ün farklı bir türevi PEGMEMA kullanılmasının, literatüre göre daha yüksek değerlerde enerji band aralıklarına sahip CuO nanoparçacıklarının ve MWCNT/CuO nanokompozitlerinin sentezlenmesini sağladığı görülmüştür.

Candemir ve Boran'nın yaptığı çalışmada molekül ağırlığı 4000 ve 8000 g/mol olan PEG'lerin sentez ortamına ilave edilmesinin CuO nanoyapılarının morfolojisi ve elektriksel iletkenliği üzerine etkisi incelenmiştir. En yüksek $1,4090 \times 10^{-7}$ S/cm elektriksel iletkenliğe 8000 g/mol molekül ağırlıklı PEG'ün kullanılmasıyla ulaşıldığı bildirilmiştir [16]. Manjunath ve arkadaşlarının yaptığı başka bir çalışmada polivinil alkol ile nanokompozitlerinin hazırlanması amacıyla sentezlenen toz formundaki CuO nanoparçacıklarının elektriksel iletkenlikleri $5,5 \times 10^{-6}$ S/cm olarak bulunduğu rapor edilmiştir [34]. Bu çalışmada ise en yüksek $7,93 \times 10^{-5}$ S/cm elektriksel iletkenliğe PEG'ün farklı bir türevi olan PEGMEMA kullanılarak sentezlenen CuO nanoyapısı ile ulaşarak literatüre göre toz formundaki CuO nanoparçacıklarının elektriksel iletkenliği geliştirilmiştir. Ayrıca, elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçları, PEG'in moleküler ağırlığının ve türevinin değişmesinin CuO nanoyapılarının ve modifiye MWCNT ile nanokompozitlerinin iletkenliğini arttırdığını göstermiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarının, sayısız kullanım için MWCNT bazlı yarı iletken metal oksit nanokompozitlerin tasarımına katkıda bulunabileceğine inanılmaktadır.

4. Sonuç

Optik özellikleri araştırmak için UV-vis spektroskopisi kullanıldı ve UV-vis verileriyle ölçülen tahmini bant aralığı enerjisi 4,24-4,35 eV'dir. XRD verilerinden elde edilen kristalinitesindeki azalma, absorpsiyon bandında gözlenen kayma ve bant aralığı enerjisinde gözlenen değişiklikler, CuO nanoparçacıklarının MWCNT'nin yapısına dahil olduğunu düşündürür. Ayrıca, nanokompozitlerin elektriksel iletkenlik sonuçlarıyla EDS analiz sonuçları bir birleriyle tutarlıdır. R-TEM sonuçlarına göre daha homojen bir şekilde modifiye MWCNT kanallarına CuO nanoparçacıklarının enkapsüle edilmesi iyi dağılılabilirlikle sonuçlanmış ve buna bağlı olarak nanokompozitlerin kendi içerisinde elektriksel iletkenlik değeri artmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Türkiye [Proje no: MUH19002.18.002] tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] N. Salah, A. Alshahrie, M.S. Abdel-wahab, N.D. Alharbi, Z.H. Khan, Carbon nanotubes of oil fly ash integrated with ultrathin CuO nanosheets as effective lubricant additives, *Diam. Relat. Mater.* 78 (2017) 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2017.08.010>.
- [2] J. Yi, D. Fang, L. Li, R. Bao, P. Liu, A facile synthesis of CNTs/Cu₂O-CuO heterostructure composites by spray pyrolysis and its visible light responding photocatalytic properties, *Adv. Powder Technol.* 29 (2018) 2027–2034. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2018.05.009>.
- [3] A. Chinnappan, D. Ji, C. Baskar, X. Qin, S. Ramakrishna, 3-Dimensional MWCNT/CuO nanostructures use as an electrochemical catalyst for oxygen evolution reaction, *J. Alloys Compd.* 735 (2018) 2311–2317. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.11.390>.
- [4] D. Saravanakkumar, H.A. Oualid, Y. Brahmi, A. Ayeshamariam, M. Karunanaihy, A.M. Saleem, K. Kaviyarasu, S. Sivaranjani, M. Jayachandran, Synthesis and characterization of CuO/ZnO/CNTs thin films on copper substrate and its photocatalytic applications, *OpenNano.* 4 (2019) 100025. <https://doi.org/10.1016/j.onano.2018.11.001>.
- [5] M.Q. Tran, C. Tridech, A. Alfrey, A. Bismarck, M.S.P. Shaffer, Thermal oxidative cutting of multi-walled carbon nanotubes, *Carbon N. Y.* 45 (2007) 2341–2350. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2007.07.012>.
- [6] H. Tanabi, M. Erdal, Effect of CNTs dispersion on electrical, mechanical and strain sensing properties of CNT/epoxy nanocomposites, *Results Phys.* 12 (2019) 486–503. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.11.081>.
- [7] S. Maity, S. Das, D. Sen, K.K. Chattopadhyay, Tailored CuO nanostructures decorated amorphous carbon nanotubes hybrid for efficient field emitter with theoretical validation, *Carbon N. Y.* 127 (2018) 510–518. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.11.018>.
- [8] Y. Zhao, M. Ikram, J. Zhang, K. Kan, H. Wu, W. Song, L. Li, K. Shi, Outstanding gas sensing performance of CuO-CNTs nanocomposite based on asymmetrical schottky junctions, *Appl. Surf. Sci.* 428 (2018) 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.09.173>.
- [9] P. Cui, A.J. Wang, Synthesis of CNTs/CuO and its catalytic performance on the thermal decomposition of ammonium perchlorate, *J. Saudi Chem. Soc.* 20 (2016) 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2014.09.010>.
- [10] M. Kierkiewicz, E. Pach, A. Santidrián, S. Sandoval, G. Gonçalves, E. Tobias-Rossell, M. Kalbáč, B. Ballesteros, G. Tobias, Comparative study of shortening and cutting strategies of single-walled and multi-walled carbon nanotubes assessed by scanning electron microscopy, *Carbon N. Y.* 139 (2018) 922–932. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.06.021>.
- [11] C. Wang, S. Guo, X. Pan, W. Chen, X. Bao, Tailored cutting of carbon nanotubes and controlled dispersion of metal nanoparticles inside their channels, *J. Mater. Chem.* 18 (2008) 5782–5786. <https://doi.org/10.1039/b811560e>.
- [12] F. Boran, Encapsulation of CuO nanoparticles inside the channels of the multi-walled carbon nanotubes functionalized

- with thermal stress, *Diam. Relat. Mater.* 114 (2021) 108306. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108306>.
- [13] S. Morariu, M. Bercea, M. Teodorescu, M. Avadanei, Tailoring the properties of poly(vinyl alcohol)/poly(vinylpyrrolidone) hydrogels for biomedical applications, *Eur. Polym. J.* 84 (2016) 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.09.033>.
- [14] F. Boran, S. Çetinkaya, M. Karakışla, M. Saçak, Synthesis and characterization of poly(o-toluidine)/kaolinite conductive composites for humidity and temperature sensing, *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.* 24 (2018) 1278–1283. <https://doi.org/10.5505/pajes.2017.94557>.
- [15] F. Boran, S. Çetinkaya, D. Anaklı, M. Karakışla, M. Saçak, Geliştirilmiş elektrik iletkenliğine sahip POT/Na-Feldispat iletken kompozitlerinin sentezlenmesi ve karakterizasyonu, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Derg.* 8 (2017) 901–910. <https://dergipark.org.tr/download/article-file/445867>.
- [16] D. Candemir, F. Boran, Size controllable synthesis and characterization of cuo nanostructure, in: *Mater. Sci. Forum*, 2018: pp. 98–103. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.915.98>.
- [17] Y.S. Jun, J.G. Um, G. Jiang, A. Yu, A study on the effects of graphene nano-platelets (GnPs) sheet sizes from a few to hundred microns on the thermal, mechanical, and electrical properties of polypropylene (PP)/GnPs composites, *Express Polym. Lett.* 12 (2018) 885–897. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2018.76>.
- [18] H. Veisi, B. Karmakar, T. Tamoradi, S. Hemmati, M. Hekmati, M. Hamelian, Biosynthesis of CuO nanoparticles using aqueous extract of herbal tea (*Stachys Lavandulifolia*) flowers and evaluation of its catalytic activity, *Sci. Rep.* 11 (2021) 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81320-6>.
- [19] S. Barua, P. Chattopadhyay, M.M. Phukan, B.K. Konwar, N. Karak, Hyperbranched epoxy/MWCNT-CuO-nystatin nanocomposite as a high performance, biocompatible, antimicrobial material, *Mater. Res. Express.* 1 (2015). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/1/4/045402>.
- [20] M. Nazim, A.A.P. Khan, A.M. Asiri, J.H. Kim, Exploring Rapid Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants with Porous CuO Nanosheets: Synthesis, Dye Removal, and Kinetic Studies at Room Temperature, *ACS Omega.* 6 (2021) 2601–2612. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04747>.
- [21] J. Zhao, S. Ge, D. Pan, Q. Shao, J. Lin, Z. Wang, Z. Hu, T. Wu, Z. Guo, Solvothermal synthesis, characterization and photocatalytic property of zirconium dioxide doped titanium dioxide spinous hollow microspheres with sunflower pollen as bio-templates, *J. Colloid Interface Sci.* 529 (2018) 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.05.091>.
- [22] A.S. Keiteb, E. Saion, A. Zakaria, N. Soltani, Structural and Optical Properties of Zirconia Nanoparticles by Thermal Treatment Synthesis, *J. Nanomater.* 2016 (2016) 1–6. <https://doi.org/10.1155/2016/1913609>.
- [23] M.M. Hussain, A.M. Asiri, M.M. Rahman, A non-enzymatic electrochemical approach for L-Lactic acid sensor development based on CuO.MWCNT nanocomposites modified with a nafion matrix, *New J. Chem.* 44 (2020) 9775–9787. <https://doi.org/10.1039/D0NJ01715A>.
- [24] M. Arfan, D.N. Siddiqui, T. Shahid, Z. Iqbal, Y. Majeed, I. Akram, Noreen, R. Bagheri, Z. Song, A. Zeb, Tailoring of nanostructures: Al doped CuO synthesized by composite-hydroxide-mediated approach, *Results Phys.* 13 (2019) 102187. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102187>.
- [25] A. Kumar, D. Kumar, G. Pandey, Characterisation of Hydrothermally Synthesised CuO Nanoparticles at Different pH, *J. Technol. Adv. Sci. Res. J.* 2 (2016) 166–169. <https://doi.org/10.14260/jtasr/2016/29>.
- [26] I.Y. Erdoğan, Ö. Güllü, Optical and structural properties of CuO nanofilm: Its diode application, *J. Alloys Compd.* 492 (2010) 378–383. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.11.109>.
- [27] Ş. Baturay, Structural and Optical Properties of Sb Doped CuO Films, *Acad. Platf. J. Eng. Sci.* 8 (2020) 84–89. <https://doi.org/10.21541/apjes.605822>.
- [28] X. Zhang, D. Zhang, X. Ni, H. Zheng, Optical and electrochemical properties of nanosized CuO via thermal decomposition of copper oxalate, *Solid. State. Electron.* 52 (2008) 245–248. <https://doi.org/10.1016/j.sse.2007.08.009>.
- [29] W. Jia, E. Reitz, H. Sun, B. Li, H. Zhang, Y. Lei, From Cu₂(OH)₃Cl to nanostructured sisal-like Cu (OH)₂ and CuO: Synthesis and characterization, *J. Appl. Phys.* 105 (2009). <https://doi.org/10.1063/1.3097286>.
- [30] J.A. Rudd, E. Kazimierska, A.R. Barron, E. Andreoli, C.E. Gowenlock, A.M. Al-Enizi, V. Gomez, Solvent-free microwave-assisted synthesis of tenorite nanoparticle-decorated multi-walled carbon nanotubes, *J. Mater. Sci. Technol.* (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.01.002>.
- [31] Y. Zhao, M. Ikram, J. Zhang, K. Kan, H. Wu, W. Song, L. Li, K. Shi, Outstanding gas sensing performance of CuO-CNTs nanocomposite based on asymmetrical schottky junctions, *Appl. Surf. Sci.* 428 (2018) 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.09.173>.
- [32] C.H. Lau, R. Cervini, S.R. Clarke, M.G. Markovic, J.G. Matison, S.C. Hawkins, C.P. Huynh, G.P. Simon, The effect of functionalization on structure and electrical conductivity of multi-walled carbon nanotubes, *J. Nanoparticle Res.* 10 (2008) 77–88. <https://doi.org/10.1007/s11051-008-9376-1>.
- [33] G. Ran, X. Chen, Y. Xia, Electrochemical detection of serotonin based on a poly(bromocresol green) film and Fe₃O₄ nanoparticles in a chitosan matrix, *RSC Adv.* 7 (2017) 1847–1851. <https://doi.org/10.1039/c6ra25639b>.
- [34] A. Manjunath, M. Irfan, K.P. Anushree, K.M. Vinutha, N. Yamunarani, Synthesis and Characterization of CuO Nanoparticles and CuO Doped PVA Nanocomposites, *Adv. Mater. Phys. Chem.* 06 (2016) 263–273. <https://doi.org/10.4236/ampc.2016.610026>.



Trafik Sinyalizasyon Sisteminde Akıllı Kavşak Kontrolü

Nihat Pamuk^{1*}

^{1*} Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8980-6913), nihatpamuk@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.998887)

ATIF/REFERENCE: Pamuk, N. (2021). Trafik Sinyalizasyon Sisteminde Akıllı Kavşak Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 312-319.

Öz

Son yıllarda artan nüfus artışıyla birlikte, bazı bölgelerde trafik yoğunluğu artışı da oluşmaktadır. Büyük şehirlerde nüfusa bağlı olarak yapımına başlanılan yeni yollarla birlikte kavşaklardaki trafik yoğunluğu da artış göstermekte, bu durum büyük şehirlerde çözülmesi gereken trafik problemleri haline dönüşmektedir. Günümüzde oluşan trafik yoğunluğu sebebiyle, araçların bir noktadan başka bir noktaya giderken karşılaşılabilecekleri gecikme sorunlarının tespiti için farklı veriler kullanılmaktadır. Gecikme, kavşaklarda bulunan trafik lambaları için en uygun sürenin belirlenmesi ve bu noktalardaki vasıtaların yoğunluklarının tespitinde kullanılan en önemli faktörlerden birisidir. Bu durum trafiğin yoğun olarak olduğu bölgelerde çözüm üretme aşamasında yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı trafik yoğunluğu, kırmızı ışıkta bekleme süreleri ve beklemekte olan vasıta sayısı ile trafik sinyalizasyon sistemlerinin tasarımında kritik öneme sahip değişkenler olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada bir kavşaktaki trafik ışıklarının zamanlama sürelerinin ve araç yoğunluğu problemlerinin çözümü ele alınmıştır. Yapılan uygulama ile trafik yoğunluğu, kırmızı ışıkta bekleme süreleri, kırmızı ışıkta bekleyen vasıta sayısı verileri değişken olarak bir model üzerinde kullanılarak örnek bir sinyalizasyon yöntemi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Trafik ışıkları, Akıllı kavşak, Sistem modelleme, Sinyalizasyon, Arduino, Sensör.

Smart Intersection Control in Traffic Signaling System

Abstract

Along with the increasing population growth in recent years, there has been an increase in traffic density in some regions. The traffic density at the intersections increases with the new roads that are started to be built in big cities depending on the population, and this turns into traffic problems that need to be solved in big cities. Due to the current traffic density, different data are used to determine the delay problems that vehicles may encounter while traveling from one point to another point. Delay is one of the most important factors used in determining the most appropriate time for traffic lights at intersections and determining the densities of vehicles at these points. This situation is insufficient in producing solutions in regions with heavy traffic. Therefore, traffic density, waiting times at red lights and the number of vehicles waiting are determined as critical variables in the design of traffic signaling systems. In this study, the timing of traffic lights at an intersection and the solution of vehicle density problems are discussed. With the application, an exemplary signaling method is presented by using the data of traffic density, waiting times at red light, number of vehicles waiting at red light as variables on a model.

Keywords: Traffic lights, Smart intersection, System modeling, Signaling, Arduino, Sensor.

* Sorumlu Yazar: nihatpamuk@gmail.com

1. Giriş

Dünya genelinde artan teknoloji ile birlikte fosil yakıt kullanan araçların üretimi kolaylaşmış dolayısıyla motorlu araç kullanımı oranı günümüzde yüksek oranlara ulaşmıştır. Bununla birlikte karayollarında trafik hacmi artmıştır. Bu artış trafikte istenmeyen kazalara sebep olmaktadır. Trafik kazalarının önüne geçmek amacıyla trafikte çeşitli türlerde sinyalizasyon sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Ancak günümüzde uygulamaya giren trafik sinyalizasyon sistemleri, artan trafik yoğunluğunu düzene sokabilecek nitelikte tasarlanmadığından trafikte çok fazla duraklamalara neden olmaktadır. Bu durum motorlu araç sürücülerine hem vakit kaybettirmekte hem de daha çok yakıt sarfiyatına sebep olmaktadır. Fazladan yapılan yakıt sarfiyatı hem ülkemizin maddiyatına hem de canlılara ve çevremize zarar vermektedir.

Literatürde kavşaklardaki akıllı sinyalizasyon benzetim uygulamaları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle bulanık mantık denetimleri ve yapay sinir ağları kullanılarak karar destek yapıları incelenmiştir. 1977 yılında Mandani ve Pappis tarafından önerilen sinyal devresi sayesinde trafik kuyruk uzunluğunun boyutlandırılması, yaklaşım kolu trafik karmaşasının giderilmesi ve bekleme süresinin değişken olarak alınarak incelenmesi için bir uygulayıcı model geliştirilmiştir (Pappis & Mamdani, 1977). 1995 yılında Tzes tarafından trafikteki araç yoğunluğunun önlenmesi için akıllı trafik sinyal kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir (Tzes, Nikolakopoulos, & Koutroulis, 2005). Kim, McShane ve Tzes tarafından bulanık mantık çalışma şartlarına uyumlu bir benzetim modeli yapılmıştır. Modelin sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi ile karşılaştırılması incelenmiştir (Tzes, McShane, & Kim, 1995).

Jongwan Kim tarafından yapılan uygulama algoritması ile birbirinden ayrı ve dört yönlü denetlenebilen kavşaklar için bir benzetim modeli geliştirilmiştir (Kim & Jongwan, 1997). Bu benzetim modeli ile ayrı ve aynı zamanlı denetlenebilir yapının sinyalizasyon ile göstermiş olduğu farklı yönleri belirlenmiştir (Öztürk & Çalış, 2017). J.P. Niittymaki tarafından ayrı ayrı ve iki yönlü denetlenebilen kavşaklar için geliştirilmiş denetleme algoritmasının benzetimi yapılarak trafik uyarlamalı denetim esnasındaki gecikme ve duruş oranı gibi performans kriterleri karşılaştırılmıştır (Niittymaki & Jarkko, 1997). Jumar ve Hoyer tarafından ise değişiklikleri açıkça belirtecek şekilde faz düzenini gösteren bir benzetim model yapısı gerçekleştirilmiştir (Hoyer & Jumar, 1994). Söz konusu modelde, trafik yoğunluğu ile kırmızı işarete sahip trafik lambasının ürettiği sinyal değerlerinin doğru orantılı faz zamanı değerleri belirlenmiş ve uygulama çalışmaları yapılmıştır (Kelsey, Bisset, & Jamshidi, 1993).

Günümüzde kullanılan akıllı sistemler yardımı ile insanların trafikte fazladan zaman harcamalarını azaltacak şekilde yeniden düzenlemeler yapılmaktadır. Bu amaçla kavşaklardaki sinyalizasyon sistemleri trafik yoğunluğunu algılayacak şekilde geliştirilmektedir. Araç yoğunluğu bulunan tarafa geçiş üstünlüğü verilecek şekilde uygun program yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Akıllı trafik sinyalizasyon benzetim çalışması ile trafik akışı algılanmakta, trafik hacminin fazla olduğu yöne geçiş önceliği verilerek trafik akışı hızlandırılmaktadır. Böylece dört kavşaklı bir yol güzergâhında herhangi bir yönde araç bulunmuyor ve sadece ilgili yönde araç bulunması durumunda hiçbir bekleme durumu gerçekleşmeden sinyalizasyon sistemi çalışarak ilgili araç için yeşil ışığın yanmasını sağlamaktadır.

2. Trafik Sinyalizasyonu

Trafik Sinyalizasyonu, 19. yüzyılın sonlarında ulaşım alanında bulunan işletme kollarından birini oluşturmaktadır. 1960 yılından sonra dünya genelinde çoğunlukla kentsel bölgelerdeki trafik sinyal lambalarının kullanıldığı görülmektedir (Chai, Shen, & Ye, 2006). Ülkemizde ise trafik sinyalizasyonu alanında ilk çalışmalar yirminci yüzyılda başlamış olup, İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerdeki önemli kavşaklar dışında fazla kullanılmamıştır. Trafik sinyalizasyon sistemleri, trafik hacminin belirli seviyeden fazla olması durumlarında kullanılmaktadır. Tablo 1'de minimum araç trafiği için belirlenmiş olan yoğunluk seviyeleri gösterilmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle trafik sinyalizasyon sistemi, sensörler, kameralar, tabletler ve bilgisayar aracılığıyla yoğunluk denetimi yapılmaktadır (Tunç, 2003).

Tablo 1. Minimum vasıta trafiği için belirlenmiş olan yoğunluk seviyeleri (Tunç, 2003)

Her bir yaklaşım için şerit sayısı		Ana yoldaki vasıta / saat trafiği	Yan yoldaki vasıta / saat trafiği
Ana yol	Yan yol		
1	1	520	155
≥ 2	1	610	160
≥ 2	≥ 2	650	210
1	≥ 2	550	215

3. Trafik Sinyali Yönetim Teknikleri

Trafik sinyalizasyon sistemleri motorlu taşıtlar ve yayaların ışıklı ikazlar ile uyarılması ve geçiş üstünlüklerinin tanzim edilmesini sağlayan sistemlerdir (Firdous, Din Iqbal, Ghafoor, Qureshi, & Naseer, 2019). Taşıt ve yayaların bulunduğu yollarda sinyalizasyon sisteminin oluşturulması yönündeki şartlar mühendislik uygulamaları kullanılarak yapılmaktadır. Sistem kurulmadan önce uygulamaya girecek olan bölümün topografyasına, trafik akışının yönlerine göre taşıt veya yay yoğunluklarına uyumlu olacak şekilde kavşaklar belirlenmekte ve uygun yönetim planlaması yapılmaktadır.

Özellikle büyük şehirlerde trafik sinyalizasyon sistemine uygun kavşaklar belirlenmektedir. Şehirlerin sürekli olarak büyümesi ve vasıta kullanım oranının artması sonucunda sürekli olarak trafik yoğunluğu ile karşı karşıya gelinmektedir. Bu yoğunluk ile birlikte sinyal sürelerinin devamlı olarak aktif tutulması oldukça büyük iş yoğunluklarına neden olmaktadır (Azimrad, Paris, & Sistani, 2010). Sinyalize kontrol uygulamalarının başlıca parametreleri; sinyal zamanları ve faz değerleridir. Sinyalize yönetim tekniklerinde trafik kontrolü genellikle iki, üç veya dört yönlü olarak gerçekleştirilmektedir (Ramzanad & Rashidy Kanan, 2013).

3.1. Sabit Zamanlı Sinyal Yönetimi

Sabit zamanlı sinyal yönetimi, araç yoğunluğunun sıklıkla değişim göstermediği, düzenli ve hesaplanabilir kavşaklarda kullanılmaktadır (Dağüstü, 2010). Sabit zamanlı sinyal yönetiminde, trafik yoğunluğu sonucuna göre hesaplanan sinyal zamanları ve faz sıralamaları kavşağa kaydedilir. Kavşakta bulunan araç ve yayaların belirlenen süreler içerisinde hacimsel olarak değişkenlik göstermediği kabul edilir. Ülkemizde genellikle sabit süreli trafik sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Sabit süreli sinyalizasyon sistemlerinde, kavşaklar için farklı konumlardan gelen taşıtlar ile yay trafiğine göre önceden hazırlanmış süre programlamalarına eş zamanlı

olarak geçiş üstünlüğü planlaması yapılarak belirlenmektedir. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinin en önemli avantajı, trafik yoğunluğunun düzenli ve öngörülebilir olduğu kavşaklarda veya ana yol ile yan yol birleşim yerlerinde ana yolun sürekli olarak kullanılabilmesini sağlamasıdır (Balta & Özçelik, 2019).

3.2. Trafik Uyarlamalı (TU) Sinyal Yönetimi

Trafik uyarlamalı sinyal yönetimi genel itibarıyla, anayollardaki vasıta yoğunluğunun çok daha fazla olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Trafik uyarlamalı sinyal yönetim sisteminin amacı, anayollardaki trafik lambalarının yeşil renkte kalma sürelerinin gereksiz yere kesilmesinin engellenmesi ve değişken trafik yoğunluklara göre dönüş yönlerindeki sinyalizasyon sistemlerinin anlık olarak çözüm üretmesini sağlamaktır (Güler, 2013). Bu yönetim şeklinin en önemli bileşeni kavşaktaki ikinci derecede önemli ana yollar dışındaki yan yollara ve dönüş kısımlarına koyulan sensörlerdir. Bu yollardan kavşaklara doğru gelen vasıtalar sensörler aracılığıyla tespit edilmekte ve süresi içinde önceden belirlenen veya programlanan zaman dilimi içerisinde yeşil renkteki lambanın yanmasını sağlamaktadır. Eğer belirlenen yönden vasıtalar gelmeye devam ediyor ise, yeşil renkteki lambanın yandığı süre diliminde yine önceden belirlenen zaman aralığını arttırmaya devam etmekte ve vasıtaların geçmesine izin vermektedir. Bununla birlikte kesişen kavşaklardaki programlanan süreyi daha etkin olarak kullanabilmenin bir diğer yolu da kavşaklar ve trafik kontrol merkezi arasındaki iletişimin düzenli olarak sağlanmasıdır. Bu sayede tüm iletişim sistemleri tek bir kontrol merkezi ile (trafik kontrol merkezi) kontrol edileceğinden dolayı, önceden belirlenen süreleri değiştirmek mümkün olmaktadır. Bununla birlikte trafikteki yoğunluk kesişim süreleri ayarlanmaktadır. Sistemde bulunan sensörler veya mobese kameralarından elde edilen veriler kullanılarak sistem verimlilik düzeyi artırılmaktadır.

3.3. Dinamik Sinyal Yönetimi

Dinamik sinyal yönetim sisteminde hem anayol hem de yan yollar için vasıta yoğunluk değerleri sensörler aracılığıyla belirlenmektedir. Önceden ayarlanmış olan trafik sinyalizasyon planlamaları neticesinde sinyal zamanları anlık ihtiyaçlara göre değiştirilip düzenlenmektedir (Yılmaz, Altınkaya, & Ekmekçi, 2019). Dinamik sinyalizasyon yönetiminin uygulandığı kavşaklarda vasıta yoğunluğu arttıkça önceden belirlenen en düşük ve en yüksek zaman dilimindeki yeşil renkte yanan lamba süreleri sürekli olarak değişkenlik göstererek sinyal denetimi yapılacaktır.

3.4. Adaptif Sinyal Yönetimi

Adaptif sinyal yönetimi, son yıllarda geliştirilmekte olan vasıta algılayıcı denetimlerinde iletişim ve mikro kontrol teknolojilerine bağlı olarak gelişmekte ve ileri trafik yönetim sistemi faktörlerinden biri olarak tanımlanmaktadır (Gonca & Gülsün, 2019). Sinyal optimizasyonu konusundaki çalışmalar içerisinde "adaptif sinyal yönetimi" ileri bir teknik olarak tanımlanmaktadır. Son zamanlarda ülkemizde de bu konuda önemli atılımlar yapılmaktadır. Adaptif sinyal yönetim sisteminde tüm yönlerden gelen vasıtalar algılanmakta ve vasıta yoğunluğuna göre geçiş üstünlüğü ilgili yöne verilmektedir. Vasıtalar kavşağa yaklaştığında, kavşaklardan çıkışta ve vasıtaların oluşturduğu kuyruk uzunluğunun belirlenmesi amacıyla ilgili kavşağa belirlenen mesafelerde algılayıcılar ve sensörler yerleştirilmektedir.

Algılayıcılardan ve sensörlerden gelen sinyal raporlarına göre elde edilen veriler farklı algoritmalarla işlenmekte ve ilgili kavşağın ihtiyacı olan zamanlar eşgüdümlü olarak belirlenmektedir. Sistemin başlıca avantajları olarak; trafik akışındaki değişimlere anında cevap verebilmesi, trafik kuyruk mesafesinin algılanarak oluşabilecek gecikme sürelerinin en alt düzeye çekilmesine olanak tanınması ve vasıta hızına bağlı olarak gecikme sürelerinin program algoritmasında otomatik olarak ayarlanabilmesine imkân tanınmasıdır (Aavani, Sawant, Sawant, & Deshmukh, 2017).

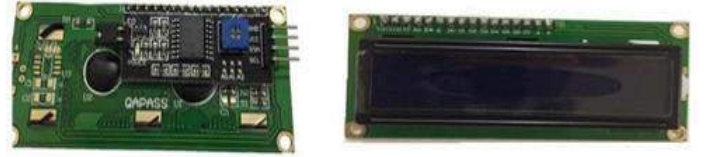
3.5. Yeşil Dalga Koordinasyonu ve Sinyal Yönetimi

Yeşil dalga koordinasyonunda birbirini takip eden ve optimal sinyalizasyon yönetimi yapılmış olan kavşaklarda, bir kavşaktan yeşil ışıkta harekete başlayan vasıtaların yapılacak olan koordinasyon sayesinde diğer sinyalizasyon yönetimi yapılmış olan kavşaklarda da kırmızı ışığı beklemeden, yeşil ışıktan bir dalga şeklinde geçmelerini sağlanmaktadır (Ozkaya & Seyfi, 2016).

4. Sistem Materyalleri

4.1. 2x16 - Lcd Ekran ve I2C Modülü

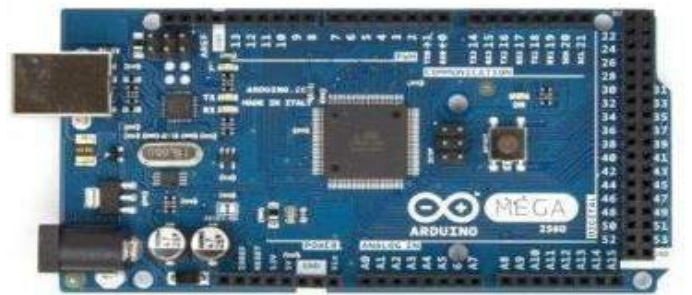
Lcd ekran modülünde, arduino kartı üzerinden atanan trafik kavşaklardaki vasıtaların hızları anlık olarak izlenebilmektedir. Kavşaklardaki ışık renklerine göre yavaş veya hızlı trafik akış yoğunlukları oluşturulmaktadır. Kavşaklarda yeşil renk yönündeki trafik akışı hızlanmakta, kırmızı renk yönündeki trafik akışları ise yavaşlamaktadır. Oluşan bu hız değişimleri Lcd ekran üzerinden görüntülenmektedir. Şekil 1'de 2x16 - Lcd ekran ve I2C modülü gösterilmiştir.



Şekil 1: 2x16 - Lcd ekran ve I2C modülü

4.2. Arduino Mega Modülü

Arduino Mega Modülü, Atmega 2560 temelli programlanabilir mikro denetleyici özelliğine sahip kart modülüdür. Arduino Mega Modülünde 54 adet sayısal giriş ve çıkış uçları bulunmakta olup, bunların 15 tanesi PWM çıkış ucu olarak kullanılmaktadır. Modül üzerinde 16 adet analog giriş ucu, 4 adet donanımsal seri port girişi (UART), 16 Mhz çalışma frekansında kristal yapıya sahip USB güç soketi, ICSP konektörü ve reset tuşu bulunmaktadır (Tataru & Druga, 2019). Şekil 2'de Arduino Mega Modülü gösterilmiştir.



Şekil 2: Arduino mega modülü

4.3. Algılayıcılar

Arduino Mega Modülü için gerekli olan algılayıcılar mikro denetleyici gibi zaman ve verilerin işlenmesi aşamasında önemli bir yer tutmaktadır. Algılayıcılar, termal veya mekanik değerleri ölçerek elde edilen değerleri elektrik sinyallerine dönüştürürler. Mekatronik sistemler elektriksel çıkış işareti veren algılayıcılarla birlikte kullanılırlar. Çıkış işaretinin özellikleri algılayıcıların ölçüm kriterlerine bağlı olarak değişir. Dönüştürücü ve invertör devreleri, 0-20 mA, 4-20 mA veya 0-10 V gibi elektrik büyüklükleri giriş sinyaline çevirirler. Sistemde yüksek frekans bozucuları bulunması durumunda ise, giriş sinyalinin etkileşim düzeyini düşürmek amacıyla alçak geçiren filtreler kullanılır. Algılayıcı işareti bir mikroişlemci vasıtasıyla kullanılıyor ise, mutlaka “Örnekle - Tut” devresi ile birlikte analog-sayısal dönüştürücü kullanılması gerekmektedir.

4.4. Ultrasonik Mesafe Sensörü (HC-SR04)

HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü, ses dalgaları yardımıyla trafikte oluşacak olan kuyruk uzunluğunun ölçümü için kullanılacak olan devre elemanıdır. Ses dalgalarını algılayabilmek için, ultrasonik mesafe sensörünün üstünde bir adet alıcı ve verici ucu bulunmaktadır. Şekil 3'te Ultrasonik mesafe sensörü gösterilmiştir.



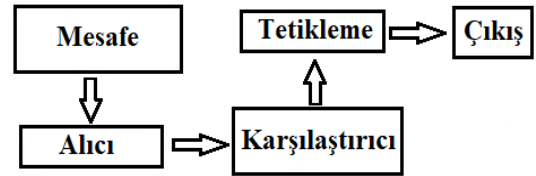
Şekil 3: Ultrasonik mesafe sensörü

Ses dalgaları verici ucundan yayılmaktadır. Verici ucundan yayılan ses dalgaları herhangi bir yüzeye çarparak geri dönmekte ve alıcı uç tarafından geri dönen ses dalgası algılanmaktadır. Bu olayın gerçekleşmesi için gerekli olan zaman ile trafikte oluşacak olan kuyruk uzunluğunun ölçümü yapılmaktadır. HC-SR04

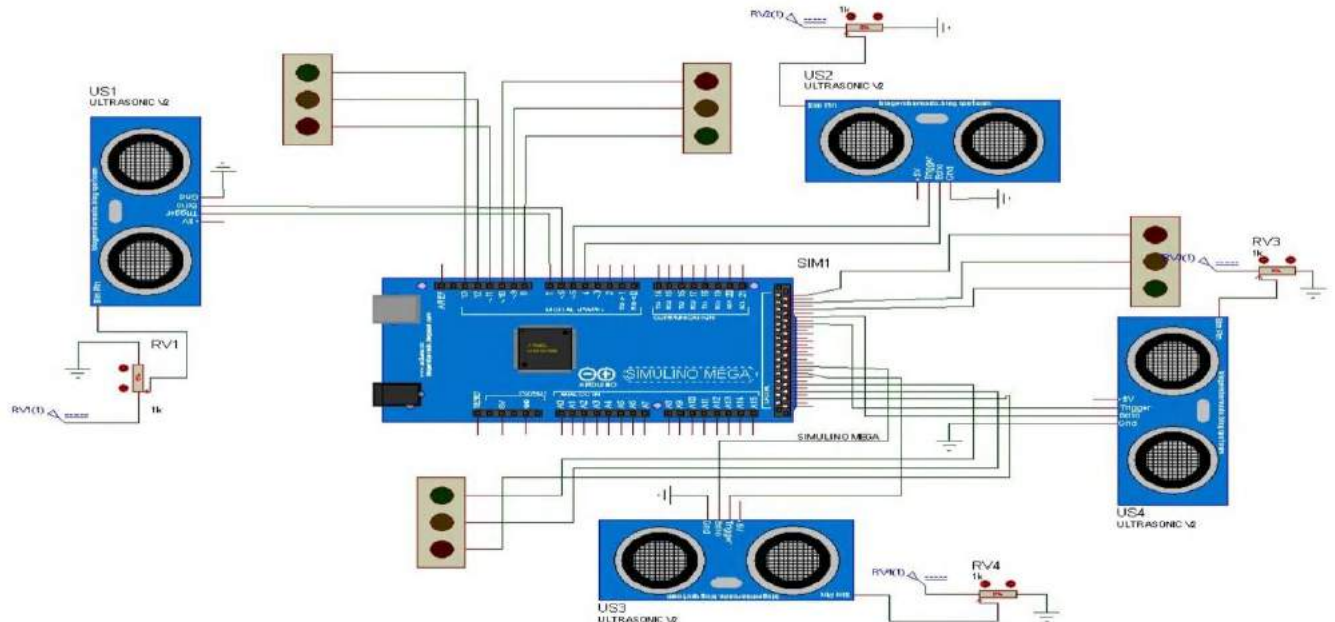
ultrasonik mesafe sensörü 2cm ile 4m arasında ölçüm yapabilmektedir (Samadi, Rad, Kazemi, & Jafarian, 2019). HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü ile yapılan ölçümler 3mm hassasiyetinde gerçekleştirilmektedir. Ultrasonik mesafe sensörünün üzerinde 4 adet giriş pini bulunmaktadır. Bu pinler sırasıyla 5 voltluk Vcc pini, Trigger pini, Echo Pini ve Ground pinleridir. Vcc pinine 5 voltluk gerilim sinyali uygulanarak verici üzerinden bir ses dalgası yayılımı sağlanır. Yayılan ses dalgası bir yüzeye çarparak geri dönmekte ve geri dönen ses dalgası alıcı üzerindeki Echo pini üzerine gerilim sinyali uygulamaktadır. Ses dalgasının yayılması ve geri yansması arasındaki geçen süre kullanılarak sensör üzerinden mesafe bilgisi hesaplanır. Bu çalışmada, kavşağa gelen dört farklı yol için birbirinden farklı olacak şekilde belirli uzaklıklardaki sensörlerden alınan veriler karşılaştırılarak vasıta sayıları yardımı ile yoğunluk hesabı yapılmaktadır. Elde edilen yoğunluk hesabına göre geçiş üstünlüğü ilgili şeride aktarılmaktadır.

5. Uygulama Çalışması

Bu çalışmada akıllı kavşak yönetim sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm sinyalizasyon sistemi, ikinci bölüm algılayıcı devre sistemi, üçüncü bölüm ise kontrolcü yapıya sahip olan devre sistemidir. Algılayıcı devreler kavşaklardaki vasıta yoğunluk durumunu ilgili sensörlerden aldığı veriler ile birlikte kontrolcü devresini iletirler. Kontrolcü devreler gelen verileri değerlendirir. Kontrolcü devre içerisinde gömülü olan yazılım sayesinde mesafe bilgileri, ilgili kavşaklara gelen yollardaki vasıta sayısı bilgileri ve sinyalizasyon bilgileri karşılaştırılarak en uygun çözüm elde edilir. Şekil 4'te sistemin sembolik akış diyagramı gösterilmiştir. Şekil 5'te tasarlanan sinyalizasyon sisteminin proteus programındaki devre şeması gösterilmiştir.



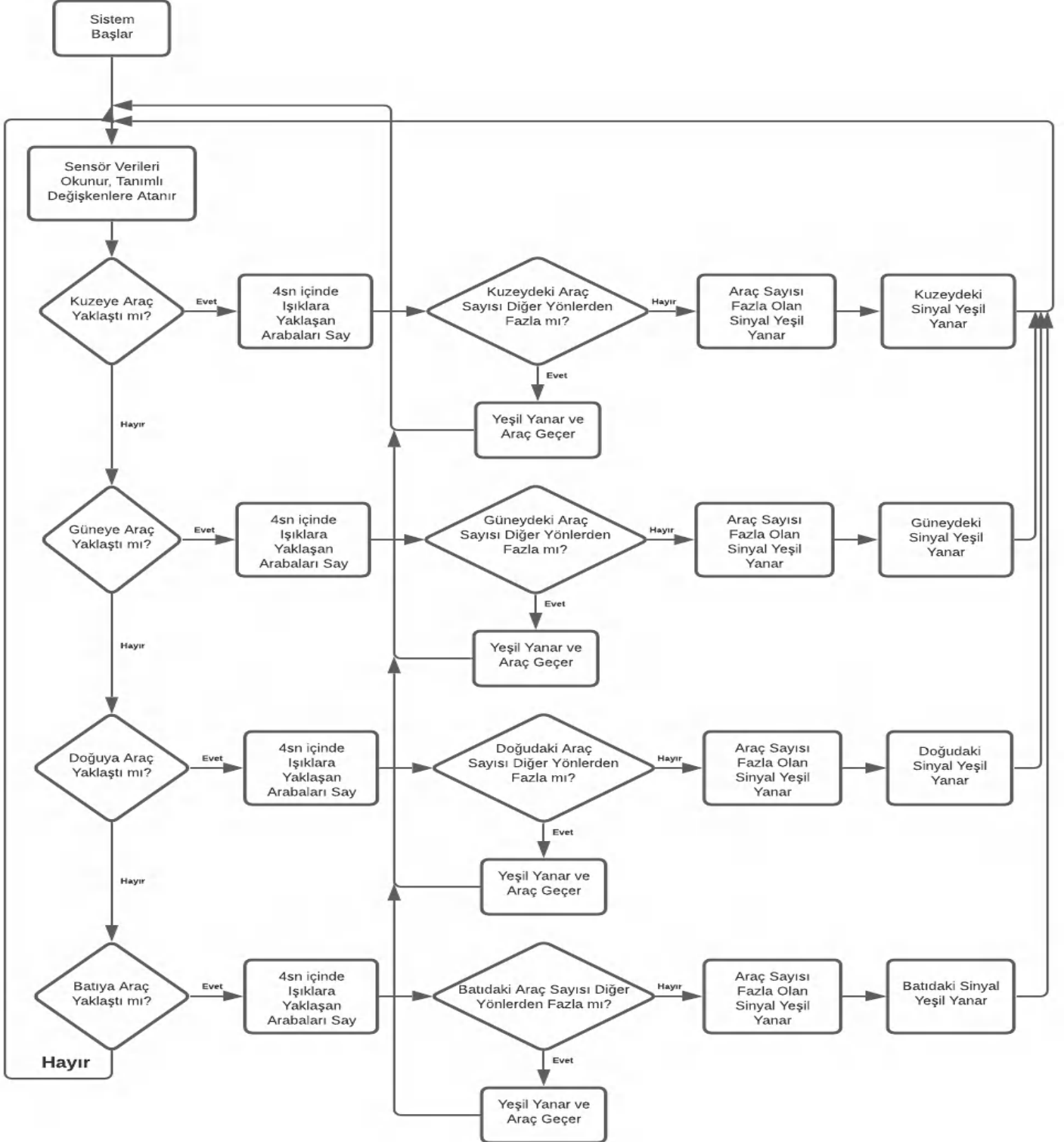
Şekil 4: Sistemin sembolik akış diyagramı



Şekil 5: Tasarlanan sistemin proteus programındaki devre şeması

Proteus programında simülasyonu yapılan çalışmanın uygulama kısmı arduino mega 2560 modülü üzerinden yapılmıştır. Arduino mega 2560 modülünün üzerinde 54 adet giriş pini bulunmaktadır. Bu çalışmada, ilk aşamada 4 adet ultrasonik mesafe sensörü kullanılmıştır. Ultrasonik mesafe sensörlerinin test pinlerine 1 adet ayarlanabilir potansiyometre ve diğer pinlerine ise 5 volt dc gerilim uygulanmıştır. Bu uygulamanın amacı 4 kavşaklı bir yolda her bir ultrasonik mesafe sensörünün algılayabildiği uzaklıkta herhangi bir vasıtanın olup olmadığının tespit edilmesidir. Sırasıyla her bir ultrasonik mesafe sensörüne

bağlı potansiyometrelerin değerleri 0'dan 100 değerine kadar artırılıp azaltılmıştır. Bu sayede Kuzey, Güney, Doğu ve Batı yönlerinde bulunan trafik lambalarının yanıp yanmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan kontroller sonucunda proteus programındaki kurulan devrede trafik yoğunluğunu tespit etmek amacıyla beşinci bir ultrasonik mesafe sensörü batı yönündeki kavşağa eklenmiştir. Daha sonra proteus programında başarı ile benzetimi yapılan çalışmanın uygulama kısmına geçilmiştir. Şekil 6'da uygulama çalışmasında kullanılan trafik sinyalizasyon sisteminin iş akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 6: Uygulanan trafik sinyalizasyon sisteminin iş akış diyagramı

Bu aşamada 4 kavşaklı bir yolda trafik yoğunluğuna bağlı olarak sinyalizasyon sisteminin karşılaştırılması yapılarak, geçiş üstünlüğü hakkının hangi yöne verilmesi gerektiği ile ilgili uygulama çalışması yapılmıştır. Şekil 7’de uygulama çalışmasına ait maket hali gösterilmiştir. Uygulama 5 aşamada gerçekleştirilmiştir



Şekil 7: Akıllı kavşak sisteminin uygulama maketi görünümü

İlk aşamasında kavşağın kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinde vasıta bulunmamaktadır. Sırasıyla vasıtalar kuzey yönüne doğru yaklaşmaktadır. Vasıtanın yaklaştığını algılayan kuzey yönündeki ultrasonik mesafe sensörü arduino kartına sinyal göndermektedir. Bu durumu algılayan sistem diğer yönlerden gelen vasıta olup olmadığını denetlemektedir. Eğer diğer yönlerde bulunan ultrasonik mesafe sensörlerinden vasıta algılanmaz ise güney yönündeki trafik lambası buradaki vasıta için yeşil ışığın yanmasını sağlamakta ve buradaki vasıtanın geçişine izin vermektedir. Örneğin kuzey yönünden bir vasıta yaklaşır ve sistemde diğer yönlerinden vasıta gelmediği ultrasonik mesafe sensörleri tarafından algılanır ise, kuzey yönünden gelen vasıta bekletilmeden yeşil ışık yakılarak geçiş imkânı sağlanır. Benzer yöntem farklı yönlerden gelen vasıtalar içinde tekrarlanabilir.

İkinci aşamada 4 kavşaklı yolun kuzey ve batı yönlerine doğru iki vasıta yaklaştığı görülmektedir. İlk olarak kavşağın kuzey yönündeki vasıta kavşağa gelmekte ve ardından iki saniye içerisinde diğer vasıta batı yönündeki kavşağa gelmektedir. Burada sinyalizasyon sistemi ultrasonik mesafe sensörlerinin göndermiş oldukları verileri inceleyerek ilk olarak hangi vasıtanın kavşağa geldiğini tespit etmektedir. Ardından kuzey yönündeki vasıta için trafik geçiş üstünlüğünü oluşturmaktadır. Kuzey yönündeki vasıta geçişini tamamladıktan sonra batı yönündeki vasıta için trafik lambası yeşil yanmakta ve buradaki vasıta geçiş sağlanmaktadır. Şekil 8’de bu senaryoya uygun akıllı kavşak sisteminin kuzeybatı yönündeki enstantane görüntüsü gösterilmiştir.

Üçüncü aşamada kuzey, batı ve güney yönlerinden gelen 3 vasıta 4 kavşaklı yolda karşılaşmaktadır. İlk kavşağa gelen vasıta batı yönündeki, ikincisi güney yönündeki ve son olarak gelen ise kuzey yönündeki vasıta olarak kabul edilmiştir. Beklenen kavşaklarda herhangi bir trafik yoğunluğu olmaması durumunda (her kavşakta bir vasıta olması durumu) trafik sinyalizasyon sisteminin ilk algıladığı vasıta olarak batı yönündeki vasıtaya geçiş üstünlüğü vermektedir. Daha sonra sinyalizasyon sistemi, ikinci algılanan vasıta olarak güney yönündeki vasıtaya geçiş üstünlüğü sağlamakta ve son olarak ise kuzey yönündeki vasıtaya geçiş izni vermektedir. Şekil 9’da söz konusu senaryo uygulanırken alınan bir enstantane görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 8: Akıllı kavşak sisteminin kuzeybatı yönünden görünümü



Şekil 9: Akıllı kavşak sisteminde aynı anda üç vasıta olması durumunu gösterir enstantane görünümü

Üçüncü aşamada farklı kombinasyonlardaki vasıtalar kuzey, güney ve doğu yönlerinden kavşağa yaklaşmaktadır. İlk kavşağa gelen vasıta kuzey yönündeki, ikincisi güney yönündeki ve son olarak gelen ise doğu yönündeki vasıta olarak kabul edilmiştir. Söz konusu üç yönde herhangi bir trafik yoğunluğu olmadığı durumda sinyalizasyon sistemi sırasıyla ilk olarak kuzey yönündekine daha sonra güney ve doğu yönlerindekiyle geçiş üstünlüğü vermektedir. Şekil 10’da söz konusu senaryo uygulanırken alınan bir enstantane görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 10: Akıllı kavşak sisteminde her yönde bir vasıta olması durumunu gösterir enstantane görünümü

Dördüncü aşamada ise trafik yoğunluğuna bağlı olarak geçiş üstünlüğü verilecek olan sistem yapısı incelenmiştir. Bu sistemde ilk vasıta kuzey yönünden kavşağa gelmektedir. İki saniye süre içerisinde batı yönünden ilave iki vasıta daha kavşağa gelmektedir. Bu sistemde trafik yoğunluğu bulunmadığı şartlarda inceleme yapılmış olsaydı, kavşağa ilk gelen vasıtaya geçiş üstünlüğü verilmesi gerekirdi. Ancak trafik yoğunluğu batı yönünde olduğu için trafik sinyalizasyon sistemi karşılaştırma yapmakta ve geçiş üstünlüğünü trafik yoğunluğunun olmuş olduğu batı yönüne vermektedir. Daha sonrasında ise kavşağa ilk gelen vasıta olan güney yönündeki vasıtaya geçiş izni vermektedir. Şekil 11’de söz konusu senaryo uygulanırken alınan bir enstantane görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 11: Akıllı kavşak sisteminde iki yöndeki trafik yoğunluğuna bağlı sinyalizasyon sistemi tepkisinin görünümü

Beşinci aşamada trafik yoğunluğuna bağlı olarak geçiş üstünlüğü verilecek olan sistem yapısı incelenmekte ve ilk vasıta doğu yönünden kavşağa yaklaşmaktadır. İki saniye süre içerisinde kuzey ve batı yönlerinden de vasıtalar kavşağa yaklaşmaktadır. Trafik yoğunluğu dikkate alınmadığı takdirde, kavşağa ilk gelen doğu yönündeki vasıtaya daha sonra kuzey yönündeki vasıtaya son olarak da batı yönündeki vasıtaya geçiş üstünlüğü verilmesi gerekirdi. Ancak trafik yoğunluğu batı yönünde olduğu için sinyalizasyon sistemi ilk olarak batı yönüne geçiş üstünlüğü vermektedir. Daha sonra güney ve doğu yönlerindeki vasıtalar için sinyalizasyon sistemi karşılaştırma yapmakta ve ilk kavşağa gelen vasıta olan doğu yönündeki vasıta için daha sonrasında da güney yönündeki vasıta için trafik geçiş üstünlüğü sağlanmaktadır. Şekil 12’de söz konusu senaryo uygulanırken alınan bir enstantane görüntüsü gösterilmiştir.

Farklı bir senaryoda kavşağa yakın zamanlarda her yönden vasıtaların yaklaşması durumudur. İlk vasıta güney yönünden ikincisi doğu yönünden geldiği kabul edilmektedir. Daha sonra batı yönünden iki adet vasıta gelmekte ve sonrasında kuzey yönünden bir adet vasıta gelmektedir. Sinyalizasyon sistemi trafik yoğunluğunu batı yönünde algılayacağı için batı yönündeki trafik ışıklarının yeşil yanmasını sağlamakta ve bu yöndeki trafik yoğunluğunu azaltmaktadır. Daha sonra diğer yönlerde eşit sayıda vasıta bulunduğu için sırasıyla güney, doğu ve kuzey yönlerinden gelen vasıtalara yeşil ışık yakarak geçiş imkânı sağlamaktadır. Şekil 13’te söz konusu senaryo uygulanırken alınan bir enstantane görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 12: Akıllı kavşak sisteminde üç yöndeki trafik yoğunluğuna bağlı sinyalizasyon sistemi tepkisinin görünümü



Şekil 13: Akıllı kavşak sisteminde her yönde vasıta olması durumundaki sinyalizasyon sistemi tepkisinin görünümü

6. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan araştırmalar sonucunda dünyada ve ülkemizde orantısız olarak artan kentleşme yatay mimari yapısından dikey mimarisine geçiş durumu vasıta trafiğini arttırmakta ve ulaşımında çeşitli sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu sorunları ortadan kaldırmak için bazı yöntemler üretilmeye çalışılmıştır. Bu yöntemlerden en önemlisi akıllı kavşak yönetim sistemidir. Akıllı kavşak sinyalizasyon sistemleri karayollarındaki trafik yoğunluklarının düzenlenmesini amaçlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte söz konusu akıllı sistemlerde dinamik olarak değişmektedir. Akıllı kavşak sinyalizasyon sistemlerinin insan hayatına entegre olması, trafik kazaları gibi maddi ve manevi kayıpları önlemenin yanısıra trafikteki zaman kayıplarını da önlemektedir.

Uygulanan trafik sinyalizasyon sisteminde belirli noktalara konumlandırılmış ultrasonik mesafe sensörleri vasıtasıyla trafik ışıklarının yanma süreleri kavşaklardaki vasıta sayılarına göre anlık olarak ayarlanmaktadır. Bu sayede trafik akışının gereksiz yere durması engellenmektedir. Vasıta trafiği fazla olan karayollarında trafik yoğunluğu azalmakta ve ulaşım daha rahat hale gelmektedir. Akıllı kavşak sinyalizasyon sistemleri sayesinde birçok olumlu etki ortaya çıkmaktadır. Bu etkiler;

- Trafik akışı hızlanmaktadır.
- Vasıtaların karayollarındaki bekleme süreleri en aza indirilmektedir.
- Trafikteki bekleme süresi azalacağından dolayı, sürücülerin trafik kurallarına uymama eğilimi azalmakta ve bu sayede trafik kazası olma olasılığı düşmektedir.
- Araç egzozlarından çevreye salınan karbondioksit ve diğer zehirli gazların emisyon miktarları azaltılarak çevre kirliliğinin en aza indirilmesi sağlanacaktır.
- Araçlar trafikte daha az yakıt tüketecek ve bu durum ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.

7. Teşekkür

Bu çalışmaya vermiş oldukları desteklerden dolayı Yavuz Yağmuroğlu ve Yasin Aynacı'ya çok teşekkür ederim.

Kaynakça

- Avani, P., Sawant, M.K., Sawant, S., Deshmukh, R.S. (2017). A review on adaptive traffic controls systems. *International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR)*, ISSN: 2455-4847, 2(1), 52-57.
- Azimirad, E., Pariz, N., & Sistani, M.B.N. (2010). A novel fuzzy model and control of single intersection at urban traffic network. *IEEE Systems Journal*, 4(1), 107-111, doi: 10.1109/JSYST.2010.2043159.
- Balta, M., Özçelik, İ. (2019). Şehir içi kavşak yönetim sistemleri için SDN temelli bir VANET mimari önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 1451-1468, doi:10.17341/gazimmfd.460544.
- Dağüstü, H.Ş. (2010). Trafik yönetiminde kavşak trafiğinin kontrolü için bir sinyal zamanlama modeli. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, Türkiye.
- Firdous, M., Din Iqbal, F.U., Ghafoor, N., Qureshi, K., & Naseer, N. (2019). Traffic light control system for four-way intersection and T-crossing using fuzzy logic. *IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA'19)*, 178-182, doi:10.1109/ICAICA.2019.8873518.
- Gonca, C.K., Gülsün, B. (2019). Adaptif trafik yönetim sistemleri. *OHS Academy İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, 2(1), 32-40.
- Güler, Z. (2013). Akıllı trafik kontrol sistemi. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, Türkiye.
- Hoyer, R., Jumar, U. (1994). Fuzzy control of traffic lights. *Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1526-1531.
- Kelsey, R., Bisset, K., & Jamshidi, M. (1993). A simulation environment for fuzzy control of traffic systems. *IFAC Proceedings*, 26(2), 753-756.
- Kim, Jongwan. (1997). A fuzzy logic control simulator for adaptive traffic management. *Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1519-1524.
- Lei, C., Guojiang, S., Wei, Y. (2006). The traffic flow model for single intersection and its traffic light intelligent control strategy. *6th World Congress on Intelligent Control and Automation* doi:10.1109/WCICA.2006.1713650, 8558-8562.
- Niittymäki, P., Jarkko. (1997). Isolated traffic signals-vehicle dynamics and fuzzy control. *Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Civil and Environmental Engineering*, Finland.
- Ozkaya, U., & Seyfi, L. (2016). A novel fuzzy logic model for intelligent traffic systems. *Electronics World*, 122(1960), 36-39.
- Öztürk, Z., Çalış, E. A. (2017). Monoray ulaşım sisteminin özellikleri ve diğer kentiçi ulaşım araçları ile karşılaştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, Türkiye.
- Pappis, C.P., Mamdani, E.H. (1977). A fuzzy logic controller for a traffic junction. *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics*, 707-717.
- Ramzanzad, M., & Rashidy Kanan, H. (2013). A new method for design and implementation of intelligent traffic control system based on fuzzy logic using FPGA. *13th Iranian Conference on Fuzzy Systems (IFSC)*, 1-4. doi: 10.1109/IFSC.2013.6675630.
- Samadi, S., Rad, A.P., Kazemi, F.M., Jafarian, H. (2012). Performance evaluation of intelligent adaptive traffic control systems: A case study. *Journal of Transportation Technologies*, <http://dx.doi.org/10.4236/jtts.2012.23027>, 2(1), 248-259.
- Tataru, A.I., Druga, C.N. (2019). Designing and realization an ECG based the Arduino Mega 2560 development board. *IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering, Annual Session of Scientific Papers (IMT ORADEA'19)*, paper 568 (012081), doi:10.1088/1757-899X/568/1/012081.
- Tzes, A., McShane, Kim, S. (1995). Expert fuzzy logic traffic signal control for transportation networks. *65th Annual Meeting Institute of Transportation Engineers*, Denver USA, 154-158.
- Tzes, A., Nikolakopoulos, G., Koutroulis, I. (2005). Development and experimental verification of a mobile client-centric networked controlled system. *European Journal of Control*, 11(3), 229-241.
- Tunç, A. (2003). Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları. *Asil Yayın Dağıtım*.
- Yılmaz, M., Altınkaya H., & Ekmekci, D. (2019). Control of railway signalization between Zonguldak Ankara with neuro-fuzzy approach. *Scientific Meeting on Electrical-Electronics & Biomedical Engineering and Computer Science (EBBT'19)*, 1-4. doi:10.1109/EBBT.2019.8741690.



A New Public-Key Cryptosystem Based on LCD Codes

Selda Çalkavur^{1*}

^{1*} Kocaeli University, Faculty of Science and Arts, Department of Mathematics, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1502-123X), selda.calkavur@kocaeli.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999112)

ATIF/REFERENCE: Çalkavur, S. (2021). A New Public-Key Cryptosystem Based on LCD Codes. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 320-324.

Abstract

A cryptosystem is a structure or scheme consisting of a set of algorithms that converts plaintext to ciphertext to encode or decode messages securely. The cryptosystem points at a computer system that employs cryptography. Cryptosystems are classified by the method they use to encrypt data. One of them is symmetric key encryption. While the symmetric key algorithm uses the same key for encryption and decryption, asymmetric key encryption or public-key encryption uses the different keys. So it is more reliable than symmetric cipher algorithm. In this paper, we propose a new public-key cryptosystem by using LCD codes and explain the signature protocol based on this system which is reliable.

Keywords: Public-key cryptosystem, Digital signature, LCD code.

* Corresponding Author: selda.calkavur@kocaeli.edu.tr

1. Introduction

Public-key encryption is a method of encrypting data with two different keys. One of the keys is the public-key which is available for anyone to use. The other is the private key. The data encrypted with the public-key can only be decrypted with the private key, and the data encrypted with the private key can only be decrypted with the public-key. Public-key encryption is also known as asymmetric encryption.

The first public-key cryptosystem was introduced by Diffie and Hellman in 1976. Diffie and Hellman's [8] key agreement is the first solution for the key distribution problem. They developed some public-key cryptography techniques. Then Rivest et al. [26] worked on an important public-key cryptosystem which is entitled RSA algorithm in 1978. This system can be used to provide both privacy and digital signature. The security of RSA lies in the difficulty of the integer factorization problem. McEliece [21] proposed a public-key cryptosystem based on error-correcting codes, binary Goppa codes, in 1978. McEliece cryptosystem has no practical usage because of its large key size.

Several alternative systems have been proposed after McEliece's scheme. It was used for generalized Reed-Solomon codes of McEliece's method by Niederreiter [25]. Berger et al. [3] introduced the use of subcodes of generalized Reed-Solomon codes. Berlekamp et al. [5] completed the decoding task of arbitrary linear code. Besides it was shown that the attacks revealing of the structure are also possible in [28], [14]. Krouk [13] presented a different class of public-key cryptosystems. It is based on the task of complete decoding. This means the decoding of coset leaders is done in the standard array [18]. The attacks occurring during encryption were examined in [16]. Some examples of the systems were considered in [16], [12]. Janwa and Moreno [11] suggested the use of algebraic geometry codes. Sidelnikov [29] presented the use of Reed-Muller codes. The use of MDPC codes was introduced by Misoczki et al. [22], the use of convolutional codes was introduced by Löndahl and Johansson [17]. Berger et al. [4] and Misoczki-Barreto [23] presented quasi-cyclic and quasi-dyadic constitution by using McEliece encryption schemes. Most of them have been broken the code based McEliece cryptosystem, but the original binary Goppa code based McEliece encryption scheme is still used safely.

LCD codes consist of an important class of linear codes. Massey studied LCD codes in 1992 [19]. Moreover, some LCD cyclic codes were constructed by Massey [20]. In [31] Massey and Yang obtained a necessary and sufficient condition for a cyclic code of length n over finite fields to be an LCD code. Sendrier examined LCD codes correspond the asymptotic Gilbert-Varshamov bound [27]. Esmaeili and Yari [9] introduced complementary-dual-quasi-cyclic codes. Carlet and Guilley examined an implementation of LCD codes against side-channel attacks in [6]. Alahmadi et al. [1] constructed a multiset-sharing scheme based on LCD codes.

In this study, we propose a new public-key cryptosystem based on LCD codes and examine the signature protocol. We explain that it is a secure system, discuss some possible attacks on the system.

The rest of the paper is organized as follows. The next section gives some necessary background on cryptography and coding theory. Section III introduces the new public-key cryptosystem, the signature protocol. Section IV analyzes its security and

considers some possible attacks. Section V compares to the other systems. Section VI concludes the paper.

2. Preliminaries

In this section, we remind some important topics that are necessary for the paper.

2.1. Public-Key Cryptosystems

A cryptosystem is an application of cryptographic methods and ensures the information security services. It can be examined under two titles as symmetric and asymmetric systems. Symmetric cryptosystems based on a natural concept. However, asymmetric or public-key cryptosystems are very difficult to comprehend. There are two keys in the public-key cryptosystems. One of them is public-key and the other is private key. In a public-key cryptosystem, any person can encrypt a message using the intended receiver's public-key, but the encrypted message can only be decrypted with the receiver's private key. There must be a mathematical relationship between the public-key and private key. This relation must be built on an equation that cannot be easily solved. Otherwise, when this equation solved, the private key can be obtained. This situation threatens the security of the system. The public-key can be known by everyone since the public-key cannot decryption, only encryption can. However, the private key must be known only by user.

Diffie-Hellman cryptosystem [8] and RSA cryptosystem [26] are pioneers of public-key cryptosystem.

2.2. Signatures

An electronic signature depends on both message and signer. The public-key cryptosystem must be used to implement the signatures. Otherwise the recipient could change the message before showing the signed message. In a public-key cryptosystem, person A encrypts the document she/he wants to sign with her/his private key. Person B opens the document with A 's public-key. If B does not, the signature is not valid or the signature has been broken by someone. Thus it has been authenticated.

2.3. Linear Codes

A linear code C of length n and dimension k is a subspace of $(F_q)^n$, where F_q is the finite fields with q elements. Such a code is denoted by $[n, k]$. All vectors in $(F_q)^n$ that are orthogonal to every codeword of C consist of the dual code C^\perp . C^\perp is an $[n, n - k]$ -code. The codewords of C are generated by the rows of generator matrix G . G is a $k \times n$ matrix the rows of which form a basis of C . The parity-check matrix H is a generator matrix for the dual code C^\perp . H is an $(n - k) \times n$ matrix.

2.4. LCD Codes

Linear Complementary Dual (LCD) code is a linear code C satisfying $C \cap C^\perp = 0$ [19]. Any code over a field is equivalent to a code generated by a matrix of the form $(I_k | A)$, where I_k is the $k \times k$ identity matrix [7]. C is LCD if $\begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$ is invertible [24].

3. Code-Based Cryptosystem Using LCD Codes

In this part, we propose a new public-key cryptosystem by using LCD codes. An user, for example Alice, constructs her own the public-key and private key as follows.

- 1) Select an $[n, k]$ –LCD code C over F_q with generator matrix G and parity-check matrix H .
- 2) Construct $n \times n$ matrix $T = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$.
- 3) Calculate $n \times n$ inverse matrix $T^{-1} = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1}$.
- 4) Public-key is (G, H) , private key is $T^{-1} = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1}$.

3.1. Encryption Algorithm

Suppose that Bob wants to send Alice a message m . Bob should do the following.

- I- Take the Alice’s public-key (G, H) .
- II- Consider the message $m \in (F_q)^n$, m is non-zero.
- III- Calculate $c_1 = G \cdot m^T$ and $c_2 = H \cdot m^T$.
- IV- Obtain the ciphertext c as $c_1 c_2$.
- V- Send Alice the ciphertext c .

3.2. Decryption Algorithm

Alice should do the following to find the plaintext m from the ciphertext c .

- i) Use the private key $T^{-1} = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1}$.
- ii) Calculate $m = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1} \cdot c^T$, where T denotes transposition.

Proposition 1. Let C be an $[n, k]$ –LCD code over F_q with generator matrix G . In the new public-key cryptosystem based on C , the size of plaintext is $q^n - 1$.

Proof. The plaintext is any non-zero elements of $(F_q)^n$ and $(F_q)^n$ consists of $q^n - 1$ non-zero elements.

Corollary 1. The number of ciphertext is $q^n - 1$.

Proof. It is easily seen from Proposition 1.

Example 1. Alice considers an LCD $[3, 2]$ -code over F_2 .

The generator matrix and parity-check matrix are

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, H = (1 \quad 1 \quad 1)$$

for this code. Since C is LCD, the matrix $T = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$ is

invertible. Alice calculates the matrix

$$T^{-1} = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1}.$$

Alice’s public-key is

$$\left(G = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, H = (1 \quad 1 \quad 1) \right)$$

and private key is

$$T^{-1} = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Encryption: Bob takes Alice’s public-key to encrypt the message $m = (001) \in (F_2)^3$ and calculates c as follows.

$$c_1 = G \cdot m^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

and

$$c_2 = H \cdot m^T = (1 \quad 1 \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = (1).$$

So $c = c_1 c_2 = (011)$. Then he sends Alice $c = (011)$.

Decryption: Alice calculates m from c by her own private key.

$$m = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1} \cdot c^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

3.3. Signatures

Our new public-key cryptosystem can also be used for the digital signatures.

3.3.1. Sign

If Alice wants to send Bob the signed message m , then she applies to the message her own private key. That is

$$\sigma^T = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1} \cdot m^T.$$

Then she sends Bob the signed message (m, σ) .

3.3.2. Verify Signature

Bob calculates $m_1^T = G \cdot \sigma^T$ and $m_2^T = H \cdot \sigma^T$ to verify the signature. Therefore obtains $m = m_1 m_2$. So the signature is verified.

Example 2. (continued)

Sign: Alice calculates

$$\sigma^T = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}^{-1} \cdot m^T$$

to sign the message $m = (001) \in (F_2)^3$.

$$\sigma^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

and she sends Bob $(m, \sigma) = ((001), (111))$.

Verify Signature: Bob should do the following to verify the signature.

$$m_1^T = G \cdot \sigma^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

and

$$m_2^T = H \cdot \sigma^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \end{pmatrix}.$$

Therefore $m = m_1 m_2 = (001)$ is obtained. So the signature is verified.

4. Security of the System

It is seen that the encryption and decryption algorithms can be applied simply. So we should examine some possible attacks. The security of the system based on an $[n, k]$ -LCD code over F_q depends on the size of parameters q , n and k . If n and k are large enough, the first attack seems ineffective. In this case, there are a lot of chances for G and H .

When n is big enough, it will be difficult to find the inverse of the matrix $T = \begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$. So an enemy cryptanalyst cannot break the private key. Moreover, it is also beneficial having a large q . Because the number of plaintext will increase. This means an attacker cannot guess the plaintext. However, when n and q are large it might be costly in term of arithmetic application.

4.1. Robustness of LCD Codes Against Existing Attacks

Theorem 1. Let G be an $k \times n$ generator matrix and H be an $(n - k) \times n$ parity-check matrix of an $[n, k]$ -LCD code C over F_q . With the above conditions, the new cryptosystem based

on C is robust against attacks.

Proof. We construct a public-key cryptosystem based on an LCD code. If $\begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$ is invertible, C is LCD [24]. So that the square matrix $\begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$ is of full rank n . That is if $\begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$ generates the full n dimensional space, then each element of $(F_q)^n$ could have any random matrix as its LCD public-key. This also means it has an efficient decryption algorithm for random $[n, k]$ -LCD codes with sufficiently large n . Because it is a difficult problem finding the inverse of matrices with large size.

5. Comparison with the Other Systems

In [30], Wang proposed the linear code based encryption scheme RLCE which shares many characteristic with random linear codes. In the key setup process, it is used the parameters n, k, d, t of an $[n, k, d]$ -code with generator matrix G . There is an efficient algorithm to correct at least t errors for this linear code given by G . RLCE scheme guarantees correct decryption and is secure. This system is a public-key cryptosystem.

McEliece's [21] public-key cryptosystem is based on Goppa codes. McEliece presented a secure system by using linear codes.

Krouk and Ovchinnikov [15] developed a cryptosystem based on bursts-correcting codes and used a linear $[n, k]$ -code with generator matrix G to construct their system. They inspired by McEliece cryptosystem, however, proved that their system is more reliable than McEliece cryptosystem.

In our framework, LCD codes were considered. We used an important property for the generator matrix G and parity-check matrix H of an LCD code. The security relies on the difficulty of finding the inverse of the matrix $\begin{pmatrix} G \\ H \end{pmatrix}$ and depends on the length n and size q .

6. Conclusion

In this paper, we proposed a new public-key cryptosystem based on LCD codes and presented the signature protocol. We analyzed its security, explain some possible attacks. The security of the system depends on the size of parameters q and n . We compared it with the other public-key cryptosystems based on linear codes. This method should be applied for the LCD codes that have large n and q . Our system is an effective method for a public-key cryptosystem.

7. Acknowledge

I would like to thank to Dr. Patrick Solé for helpful discussions.

References

- [1] Alahmadi, A., Altassan, A., AlKenani, A., Çalkavur, S., Shoab, H., Solé, P., (2020), A Multisecret-Sharing Scheme Based on LCD Codes, *Mathematics*, vol. 8, no. 272.
- [2] Baldi, M., Bodrato, M., and Chiaraluce, F., (2008), A new analysis of the mceliece cryptosystem based on qc-ldpc codes, In *Security and Cryptography for Networks*, pp. 246-262, Springer.
- [3] Berger, T. P., and Loidreau, P., (2005), How to mask the structure of codes for a cryptographic use. *Designs, Codes and Cryptography*, vol. 35, no. 1, pp. 63-79.
- [4] Berger, T. P., Cayrel, P.-L., Gaborit, P., and Otmani, A., (2009), Reducing key length of the mceliece cryptosystem. In *Progress in Cryptology-AFRICACRYPT 2009*, pp. 77-97, Springer.
- [5] Berlekamp, E., McEliece, R., and Tilborg, H. van, (1978), On the inherent intractability of certain coding problems (corresp.), *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 24, no. 3, pp. 384-386, May.
- [6] Carlet, C., Guilley, S., (2014), Complementary dual codes for counter measures to side-channel attacks, In *Proceedings of the 4th ICMCTA Meeting, Palmela, Portugal, 15-18 September 2014*.
- [7] Dougherty, S. T., Kim, J.-L., Özkaya, B., Solé, P., (2017), The combinatorics of LCD codes: Linear programming bound and orthogonal matrices, *IJICOT 2017*, vol. 4, pp. 116-128.
- [8] Diffie, W., and Hellman, (1976), M. E., *New Directions in Cryptography*, *IEEE Transactions on Information Theory*, IT-22, no. 6, pp.644-654, November 1976.
- [9] Esmaeili, M., Yari, S., (2009), On complementary-dual quasi-cyclic codes, *Finite Fields Appl.*, vol. 15, pp. 357-386.

- [10] Güneri, C., Özkaya, B., Solé, P., (2016), Quasi-cyclic complementary dual codes, *Finite Fields Appl.*, vol. 42, pp. 67-80.
- [11] Janwa, H., and Moreno, O., (1996), McEliece public key cryptosystems using algebraic-geometric codes, *Designs, Codes and Cryptography*, vol. 8, no. 3, pp. 293-307.
- [12] Kabatiansky, G. , Semenov, S. and Krouk, E., (2005), *Error-Correcting Coding and Security for Data Networks: Analysis of the Superchannel Concept*, John Wiley, Sons, p. 278.
- [13] Krouk, E., (1983), A New Public-Key Cryptosystem, in *Sixth Joint Swedish-Russian International Workshop on Information Theory*, Moelle, Sweden, pp. 285-286.
- [14] Krouk, E., Ovchinnikov, A., and Vostokova, E., (2016), About one modification of McEliece cryptosystem based on Plotkin construction, in *2016 XV International Symposium Problems of Redundancy in Information and Control Systems (REDUNDANCY)*, pp. 75-78, September 2016.
- [15] Krouk, E., Ovchinnikov, A., (2017), Code-Based Public-Key Cryptosystem Based on Bursts-Correcting Codes, *AICT 2017, The Thirteenth Advanced International Conference on Telecommunications*, pp. 93-95, IARIA.
- [16] Krouk, E., and Serger, U., (1998), A Public Key Cryptosystem Based on Total Decoding of Linear Codes, in *VI International Workshop "Algebraic and combinatorial coding theory"*, Pskov, pp. 116-118.
- [17] Löndahl, C., and Johansson, T., (2012), A new version of mceliece pkc based on convolutional codes, In *Information and Communications Security*, pp. 461-470, Springer.
- [18] MacWilliams, F., and Sloane, N., (1983), *The Theory of Error-Correcting Codes*, North-Holland publishing company, p. 782.
- [19] Massey, J. L., (1992), Linear codes with complementary duals, *Discrete Math.* 106/107, pp. 337-342.
- [20] Massey, J. L., (1994), Reversible codes, *Inf. Control*, vol. 7, pp. 369-380.
- [21] McEliece, R. J., (1978), A Public-Key Cryptosystem Based on Algebraic Coding Theory, 1978 DSN progress report, pp. 42-44, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.
- [22] Misoczki, R., Tillich, J. -P. , Sendrier, N., and Barreto, P., (2013), MDPC-McEliece: New McEliece variants from moderate density parity-check codes. In *Information Theory Proceedings (ISIT)*, 2013 IEEE International Symposium on, pp. 2069-2073, IEEE.
- [23] Misoczki, R., and Barreto, P., (2009), Compact mceliece keys from goppa codes, In *Selected Areas in Cryptography*, pp. 376-392, Springer.
- [24] Ngo, X. T., Bhasin, S., Danger, J. L., Guilley, S. , Najm, S., (2015), Linear Complementary Dual Code Improvement to Strengthen Encoded Circuit Against Hardware Trojan Horses, In *Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST)*, Washington, DC, USA, 5-7 May 2015.
- [25] Niederreiter, H., (1986), Knapsack-type cryptosystems and algebraic coding theory, *Prob. Control and Information Theory*, vol. 15, no. 2, pp. 159-166.
- [26] Rivest, R. L. , Shamir, A., Adleman, L., (1978), A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems, *Communications of the ACM*, <https://doi.org/10.1145/359340.359342>.
- [27] Sendrier, N., (2004), Linear codes with complementary duals meet the Gilbert-Varshamov bound, *Discrete Math.*, vol. 285, pp. 345-347.
- [28] Sidelnikov, V. M., and Shestakov, S. O., (1992), On insecurity of cryptosystems based on generalized Reed-Solomon codes, *Discrete Mathematics and Applications*, vol. 2, no. 4, pp. 439-444.
- [29] Sidelnikov, V. M., (1994), A public-key cryptosystem based on binary reed-muller codes, *Discrete Mathematics and Applications*, vol. 4, no. 3, pp. 191-208.
- [30] Wang, Y., (2016), Quantum Resistant Random Linear Code Based Public Key Encryption Scheme RLCE, 2016 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), DOI:10.1109/ISIT.2016.7541753, Barcelona, Spain.
- [31] Yang, X., Massey, J. L., (1994), The condition for a cyclic code to have a complementary duals meet the Gilbert-Varshamov bound, *Discrete Math.*, vol. 126, pp. 391-393.



Jeotermal Suların Uygulama Alanları ve Çevresel Problemler

Saadet Acar^{1*}, Hasan Köseoğlu²

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6685-4736), saadetacar32@gmail.com

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0183-208X), hasankoseoglu@sdu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999121)

ATIF/REFERENCE: Acar, S. & Köseoğlu, H. (2021). Jeotermal Suların Uygulama Alanları ve Çevresel Problemler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 325-332.

Öz

Günümüzde artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların yenilenememesi, maliyet, olumsuz çevresel ve atmosferik etkiler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal, dalga ve biyokütle kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Jeotermal enerji, çevreci ve yenilenebilir yapısının yanında farklı kullanım alanlarına uygunluğu nedeni ile alternatif olarak öne çıkmaktadır. Jeotermal kaynakların çok çeşitli ve geniş kullanım alanları olmasıyla birlikte başlıca kullanım uygulamaları; elektrik üretimi, merkezi ısıtma ve soğutma, meyve ve sebzelerin kurutulması, sera ve toprak ısıtılması, su ürünleri yetiştiriciliği, yüzme, banyo ve sağlık amaçlı kullanımlardır. Jeotermal sistemlerin çoğu yüksek sıcaklık, basınç, buhar ve jeotermal akışkanları içermektedir. Jeotermal akışkanların bileşimleri lityum (Li), bor (B), arsenik (As), kalsiyum (Ca²⁺), magnezyum (Mg²⁺), demir (Fe), sülfat (SO₄²⁻) ve klorür (Cl⁻) gibi çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Ayrıca jeotermal buhar belirli miktarda cıva, hidrojen sülfür, amonyak, metan ve radon gibi elementleri de içerebilmektedir. Bunun yanı sıra jeotermal sulardaki bor, arsenik ve lityum gibi elementler insan sağlığı, tarım arazileri ve su ortamları için çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu tip içeriklere sahip olan jeotermal sular, alıcı ortamlara deşarj edildiklerinde sucul yaşam, sulama suyu ve içme suyu üzerinde toksik çevresel etkilere sahiptir. Bu sebeple, jeotermal suların çeşitli yöntemlerle arıtılması gerekmektedir. Jeotermal akışkanın kimyasal özelliklerine bağlı olarak karşılaşılan sorunlardan bir diğeri de, orta ve yüksek sıcaklıktaki jeotermal sistemlerdeki tortulaşma ve korozyon problemleridir. Silika (SiO₂), jeotermal enerji santrallerinde tortulaşmaya sebep olan ana bileşendir. Karbondioksit (CO₂) varlığında oluşan korozyon ise, jeotermal sistemlerde en çok karşılaşılan durumlardan biridir. Bu çalışmada, jeotermal suların kimyasal özellikleri, uygulama alanları ve çevresel problemleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Etki, Jeotermal Enerji, Jeotermal Su, Sürdürülebilirlik, Tortulaşma

Application Areas of Geothermal Waters and Environmental Problems

Abstract

Today, the trend towards renewable energy sources is increasing due to the increasing energy demand, non-renewable fossil fuels, costs, negative environmental and atmospheric effects. Hydroelectric, wind, solar, geothermal, wave and biomass sources are classified as renewable energy sources. Geothermal energy stands out as an alternative due to its environmentally-friendly and renewable nature, as well as its suitability for different usage areas. Although geothermal resources have a wide range of uses, the main usage applications are; electricity generation, central heating and cooling, drying of fruits and vegetables, greenhouse and soil heating, aquaculture, swimming, bathing and health purposes. Most of these systems involve high temperature, pressure, steam and geothermal fluids. The compositions of geothermal fluids consist of various components such as lithium (Li), boron (B), arsenic (As), calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), iron (Fe), sulfate (SO₄²⁻), and chloride (Cl⁻). In addition, geothermal steam may contain certain amounts of elements such as mercury, hydrogen sulfide, ammonia, methane and radon. Also, elements such as boron, arsenic and lithium in geothermal waters cause various negative effects on human health, agricultural lands and aquatic environments. Geothermal waters, which have various contents, may have toxic environmental effects on aquatic life, irrigation water and drinking water when they discharged into receiving environments. For this reason, it is necessary to treat geothermal waters by various methods. Another problem encountered depending on the chemical properties of the geothermal fluid is scaling and corrosion problems in medium and high temperature geothermal systems. Silica (SiO₂) is the main component that causes scaling in geothermal power plants. Corrosion in the presence of carbon dioxide (CO₂) is one of the most common situations in geothermal systems. In this study, the chemical properties, application areas and environmental problems of geothermal waters were evaluated.

Keywords: Environmental Impact, Geothermal Energy, Geothermal Water, Scaling, Sustainability

* Sorumlu Yazar: saadetacar32@gmail.com

1. Giriş

Hızla büyüyen dünya nüfusu ve giderek artan çevresel problemlerle birlikte sürdürülebilir kalkınma, insanlık için çok önemli bir konu haline gelmiştir (Hepbaslı ve Ozgener, 2004). Bu bağlamda enerji; toplum, ekonomi ve çevre için en önemli konulardan biri olarak görünmektedir (Dincer ve Ozcan, 2018). Enerji sorunlarının azaltılmasına yönelik bir yaklaşım, geleneksel fosil yakıt teknolojilerinin yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının getirilmesidir (Anderson ve Rezaie, 2019). Yenilenebilir enerji kaynakları; sera gazının azaltılması, enerjinin kendi kendine yeterliliği ve yerel ekonomilerin gelişimi gibi faydalar sağlama konusunda önemli bir potansiyele sahiptir (Hondo ve Moriizumi, 2017). Petrol, kömür, nükleer enerji gibi kendini yenileme durumu olmayan kaynakların bilinçsizce kullanılması ve buna bağlı olarak enerji kaynaklarının hızla tükenmeye başlaması yenilenebilir enerji kaynaklarını önemli hale getirmiştir (Külekçi, 2010). Bu enerji kaynakları; jeotermal, hidrolik, kimyasal, nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), güneş, rüzgar gibi değişik şekillerde bulunabilmektedir (Koç ve Şenel, 2013). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan jeotermal enerji, alternatif ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (Anderson ve Rezaie, 2019). Jeotermal enerji; stabil, operasyonel olarak güvenli, çevre dostu, düşük sera gazı emisyonlarına ve uzun dönemli uygulama tecrübesine sahip olması nedeniyle önemli bir potansiyele sahiptir (Shortall vd., 2015). Bu kaynaklar, diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, büyük rezervlere ve yüksek kullanım verimliliğine sahiptir (Li vd., 2015). Jeotermal enerji, yeraltında depolanan ısı enerjisidir. Yer kabuğunun farklı derinliklerinde biriken ısı, çeşitli yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla tuz, mineral ve gazlar içeren sıcak su ve buhardır (Aydingöz, 2005). Bu kaynaklar genel olarak, aktif kırık sistemleri ile volkanik ve magmatik alanların etrafında oluşmaktadır (Yanar, 2015). Bu alanlar, jeotermal enerjinin varlığından yararlanırken, aynı zamanda volkanik patlama riskine de dayanmaktadır (Soelaiman, 2016).

Jeotermal rezervuarlar, enerji üretiminin taleplerini karşılamak için kullanılan, buhar, sıcak su veya her ikisinin karışımından oluşan jeotermal alanlardır (Toth ve Bobok, 2017). Yerkürenin yüzeyinden gelen su, kabuk içindeki sıcak bölgelere ulaşmak için, bazen birkaç kilometre derinliğe kadar kaya içindeki fay ve çatlaklardan sızabildiğinde jeotermal alanlar oluşmaktadır (Breeze, 2019). Bazı bölgelerde, kabuktaki çatlaklardan akan su, sıcak kaya ile temas eder ve yüksek sıcaklıklara ısıtılır. Bu ısıtılmış suyun bir kısmı yüzeye geri döner ve sıcak kaplıcalar-gayzerler olarak görünür (Yılmaz-İpek, 2009). Jeotermal su, derin bir yeraltı deposundan çekilen sıcak, genellikle tuzlu, mineral bakımından zengin ve yüksek sıcaklığa sahip bir akışkandır (Yavuz, 2010). Genel olarak, jeotermal akışkan kimyasal bileşenler bakımından zengindir. En önemli bileşenler; katyonlar (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Li^+ , Sr^{2+} , Mn , Fe), anyonlar (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , Br^-), iyonik olmayan türler (SiO_2 , B , NH_3) ve bazı spesifik türlerdir (Hg , As , bazı metaller). Çözünmüş yoğunlaşmaz gazlar arasında karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S), amonyak (NH_3), azot gazı (N_2), hidrojen gazı (H_2) ve metan (CH_4) bulunmaktadır (Bertani, 2016). Jeotermal enerji kullanımının, çevreye bazı olumsuz etkileri vardır. Özellikle hava kalitesi açısından çevreye olan etkiler fazla olabilmektedir (Çakın vd., 2005). En önemlilerinden biri olan CO_2 , jeotermal gaz fraksiyonunun yaklaşık %90'ını temsil etmektedir. En tehlikeli olan ve pahalı arıtım önlemleri gerektiren,

toksitesi ve ciddi çevresel etkisi nedeniyle H_2S 'tir (Bertani, 2016). Jeotermal sudaki bazı çözünmüş minerallerin aşırı konsantrasyonu (florür, demir, kalsiyum, karbonat) tortu oluşumu ve korozyon gibi çeşitli su kalitesi sorunlarına neden olmaktadır (Yavuz, 2010). Jeotermal enerjide karşılaşılan çevresel sorunlardan bir diğeri de genellikle yüzeysel ve yeraltı sularının bor, arsenik ve lityum gibi toksik ağır metaller ile kirlenmesidir (Gezmiş Yavuz, 2018). Bu nedenle jeotermal suların çevre ve ekosistem üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkiler dikkatli bir şekilde takip edilmelidir (Er, 2016). Özellikle jeotermal santrallerden gelen atıksular yüksek sıcaklığa sahiptir. Bu atıksular yüzeyde bertaraf edilirse, sıg yeraltı suyu, akarsu ve diğer yüzey suları termal olarak kirlenebilmektedir (Arnorsson vd., 2015). Bu durum, sucul ekosistemde sıcaklık değişimine son derece hassas olan bitki ve hayvan türleri için tehlikeli olabilmektedir (Er, 2016). Sonuç olarak, jeotermal akışkanların alıcı ortamlara deşarj edilmesi hem sucul ekosistem hem de bu suların çeşitli amaçlarla kullanılmasında (tarımsal sulama gibi) zararlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, yüzeye çıkan jeotermal akışkanların, ekonomik açıdan uygun yöntemler kullanılarak yüzeysel su ortamlarından uzaklaştırılması veya en aza indirgenmesi gerekmektedir (Yavuz, 2010).

Bu çalışmada, jeotermal kaynakların Dünya'daki ve Türkiye'deki durumu incelenerek, jeotermal suların kimyasal bileşimi, uygulama alanları ve çevresel etkileri irdelenmiştir. Jeotermal suların çevreye olan etkilerinin azaltılması için dikkat edilmesi gereken hususlar ve alınması gereken önlemler araştırılmıştır. Bu çalışmanın ana amacı; jeotermal enerji/jeotermal suların kullanım alanları ve jeotermal kuyu/buharlardan gelen deşarjların oluşturduğu çevresel problemlerin detaylı olarak değerlendirilerek yenilikçi arıtma alternatiflerinin de dahil olduğu çözümlerin ortaya konmasıdır.

1.1. Jeotermal Kaynakların Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu

Dünyada, yenilenebilir enerjinin benimsenmesi, küresel enerji dönüşümü ve iklim değişikliğinin azaltılması için önemli bir strateji haline gelmiştir (Xia ve Zhang, 2019). Enerji üretimi için jeotermal kaynak kullanımının avantajları: (1) günde 24 saat kesintisiz elektrik üretimi, (2) temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi, (3) artan enerji güvenliği, (4) CO_2 emisyonlarının ve diğer hava ve su kirleticilerin azaltılması (5) daha az tatlı su tüketimi ve (6) işletme esnekliğidir. Günümüzde jeotermal enerjinin en fazla kullanımı elektrik üretimi alanında (Pan vd., 2019). Amerika Birleşik Devletleri'nde 60 jeotermal enerji santrali elektrik üretmekte ve bu jeotermal enerji santrallerinin çoğu, Nevada, Hawaii, Idaho Utah ve Kaliforniya'da bulunmaktadır (Khare vd., 2019). Alp-Himalaya kuşağı, Dünyanın en büyük jeotermal kuşakları arasında olup, İtalya, Yunanistan, Macaristan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet ve Çin ülkeleri bu kuşakta yer alan ülkelerdir (İlgar, 2005). Belirtilen bu büyük kuşaklar dışında Japonya, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İrlanda ve Meksika oldukça zengin jeotermal kaynakları olan ülkelerdir (Kalıncı, 2006). Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır. Elektrik dışı kullanım 70.000 MW'ı aşmış olup dünyada doğrudan kullanım uygulamalarındaki ilk 5 ülke ise ABD, Çin, İsveç, Belarus ve Norveç'tir (MTA, 2021). Dünyada jeotermal enerji kurulu gücü 2018 yılı sonu verilerine göre 14.9 GW'e düzeyindedir (MTA, 2021). Uluslararası Enerji Ajansı (2011) tarafından 'Jeotermal Isı ve Enerji Teknolojisi Yol Haritasına' göre, jeotermal elektrik

üretimini 2050 yılına kadar yılda 1400 TW_h değerine ulaşacağı rapor edilmiştir (Pan vd., 2019). 2017 yılında, en büyük kurulu jeotermal enerji kapasitesine sahip ülkeler Amerika Birleşik Devletleri (~ 3,72 GW), Filipinler (~ 1,93 GW), Endonezya (~ 1,86 GW), Türkiye (~ 1,06 GW), Yeni Zelanda (~ 0,98 GW), Meksika (~ 0,92 GW), İtalya (~ 0,92 GW) ve İzlanda (~ 0,71 GW)'dır (BP, 2019). Kasım 2020 verisine göre jeotermal enerji santrali kurulu güçleri; ABD (3.700 MW_e), Endonezya (2.289 MW_e), Filipinler (1.918 MW_e), Kenya (1.193 MW_e) ve Türkiye (1.579 MW_e) öne çıkmaktadır (Huttrer, 2020). Buna göre, 2000 yılında yaklaşık 10.000 MW_e olan dünya toplam kurulu güç kapasitesi, 2020'de 20.000 MW_e'ye yaklaşmış ve yaklaşık iki kat artmıştır (Baba vd., 2021).

Birçok ülke kömür, petrol ve doğalgaz gibi başlıca küresel enerji kaynakları bakımından zengin değildir (Ketilsson vd., 2015). Son 25 yılda, Türkiye'nin enerji tüketimi, ekonomik büyümesine paralel olarak artmıştır (Melikoglu, 2017). Küresel olarak, son otuz yılda iki katına çıkan sera gazı emisyonları ve fosil yakıt fiyatlarının değişkenliği birçok ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımlarını artırmaya teşvik etmiştir (Al-Mulali vd., 2013). Buna bağlı olarak Türkiye, önümüzdeki yıllarda enerji talebinin %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından üretme hedefini belirlemiştir (Melikoglu, 2017). Bu durum Türkiye dahil diğer ülkeler için jeotermal enerji üretiminin gelişmesine ana etken olmuştur (Xia ve Zhang, 2019). Türkiye jeotermal kaynaklar bakımından zengin bir ülkedir (Aksoy, 2014). Isınmadan termal turizme kadar jeotermal enerji kullanımı konusunda yüksek miktarda uygulama ve kullanım sağlanmaktadır (Dincer ve Ozcan, 2018). Türkiye'deki ilk jeotermal araştırmalar ve incelemeler 1962 yılında MTA tarafından başlatılmıştır (Mertoglu vd., 2019). Ülkemizde jeotermal alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7 si Marmara Bölgesinde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır (MTA, 2021). Türkiye, jeotermal enerjiden elektrik üretimi ve doğrudan kullanım uygulamalarında (ısıtma, termal turizm, mineral çıkarma) önde gelen ülkeler arasındadır (Hepbasli ve Canakci, 2003). Türkiye'de başlıca uygulamalar kapsamında 60 kayıtlı jeotermal enerji santrali ve 18 bölgesel şehir ısınması bulunmaktadır (Enerji Atlası, 2021). Ülkemizde, özel sektörün jeotermal arama, geliştirme ve yatırım çalışmaları ile birlikte toplam jeotermal ısı kapasitesi 35.500 MW_t'e ulaşmıştır (ETKB, 2021). MTA ve özel sektör verilerine göre Türkiye genelinde 20-287°C arasında değişen sıcaklıklara sahip olduğu bilinen 460'dan fazla jeotermal alan ve 2000'den fazla sıcak su ve maden suyu kaynağı tespit edilmiştir (Lund ve Toth, 2021). Yeni sahaların keşfiyle jeotermal alan sayısı arttırılmış olup, bugüne kadar toplam 634 adet 412.250 metre sondajlı arama çalışması yapılmıştır (MTA, 2021). Ülkemiz, Aralık 2020 sonunda jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde 1613 MW_e kurulu güce ulaşmış ve Dünyada jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde 4. sırada yerini almıştır. Jeotermal enerjinin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı ise %3,25 olarak belirlenmiştir (ETKB, 2021). Türkiye'de 2021 yılı Şubat ayında devrede olan santrallerin %52,1'ini yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreten santraller oluşturmuştur. Hidroelektrik santraller, Türkiye toplam elektrik kurulu gücünün (%32,2)'sini, termik santraller (%47,9), rüzgar (%9,5), güneş (%7,1), jeotermal (%1,7), ve biyokütle enerjisi (%1,6)'sını temsil etmiştir (TSKB, 2021). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), 2021 Şubat Kurulu Güç Raporunda Türkiye'nin 60 adet jeotermal santral ile 1623,9 MW kurulu güce sahip olduğunu açıklamıştır (TEİAŞ, 2021). Mart 2021 itibarıyla ülkemizin elektrik üretim santralleri kurulu gücü 97.000 MW'ı geçmiş olup bunun 1.696

MW'ı jeotermal elektrik santralidir (Enerji Portalı, 2021). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2019-2023 Stratejik Planına göre, 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kurulu kapasitelerinin hedefleri; rüzgar: 11.883 MW, hidroelektrik: 32.037 MW, jeotermal-biyokütle: 2884 MW, güneş: 10.000 MW ve yerli kömüre dayalı elektrik kurulu gücü: 14.664 MW olarak belirlenmiştir (ETKB, 2020). Jeotermal enerji santrali kurulu güçlerine bakıldığında, son dönemlerde hem yeni jeotermal enerji santrallerinin devreye girdiği hem de enerji santrali kurulu gücünün sürekli arttığı ifade edilebilir. Ayrıca, ülkemizin elektrik üretimi ve doğrudan kullanımlar için jeotermal kaynaklar bakımından zengin ve elverişli olduğunu görmek mümkündür.

2. Jeotermal Enerji ve Jeotermal Suların Uygulama Alanları

Jeotermal enerji, doğrudan kullanım ve elektrik üretimi olmak üzere iki genel şekilde kullanılmaktadır (Dincer ve Ozcan, 2018). Jeotermal kaynakların doğrudan kullanımı temel olarak ısıtma ve soğutma içindir (Lund, 2007a). Jeotermal kaynakların ısıtma uygulamaları için doğrudan kullanılması, elektrik üretiminden daha düşük sıcaklıklarda kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmektedir (DiPippo ve Renner, 2014). Elektrik üretimi teknolojileri (buharlı enerji santralleri, hidrotermal ve ikili çevrim enerji santralleri) sırasıyla yüksek, orta ve düşük entalpili üç jeotermal enerjiye dayanmaktadır (Santos vd., 2018). Yüksek sıcaklıktaki jeotermal rezervuarlar (150-300°C), buhar ve elektrik üretimi dahil olmak üzere dolaylı kullanım uygulamaları için kullanılmaktadır (Van Nguyen vd., 2015). Dünyada jeotermal kaynakların doğrudan kullanımındaki oranlar (elektrik dışı); jeotermal konut ısıtması %74,8, kaplıca-sağlık amaçlı kullanım %18, sera ısıtması %3,5, jeotermal balıkçılık %1,3, endüstriyel kullanım %1,6, soğutma-kar eritme %0,2 ve diğer %0,2'dir (TJD, 2021). Jeotermal kaynakların en eski kullanımı iyileştirici özellikleriyle bilinen kaplıcalardır (IGA, 2018). Türkiye, doğrudan kullanım bakımından şifalı jeotermal sular ve kaplıcalar bakımından da Avrupa'nın önde gelen ülkesidir (Özbek, 2011). Türkiye'nin jeotermal suyunun balneolojik kullanımından 20 milyon yerli ve yaklaşık 20.000 yabancı ziyaretçi faydalanmaktadır (Lund ve Toth, 2021).

Elektrik üretme ve yüksek kalitedeki hidrotermal sistemlerden bölgesel ısıtma/dağıtma için jeotermal ısı pompası teknolojileri oldukça gelişmektedir (Sowizdzal, 2018). Jeotermal kaynakların doğrudan kullanımındaki en hızlı artış, jeotermal veya toprak kaynaklı ısı pompası teknolojisindedir (DiPippo ve Renner, 2014). Bir ısı pompası, kışın ısıyı evin içine pompalar ve yaz aylarında evin içinden tekrar dışarı ısı pompalar (Towler, 2014). Jeotermal bölgesel ısıtma uygulamalarına Çin öncülük etmekte, ardından İzlanda ve Türkiye gelmektedir (Lund ve Boyd, 2016). İzlanda, yerden ısıtma ihtiyacının %89'u jeotermal enerjiden karşılanmaktadır (Lund, 2007a). ABD'de jeotermal kaynak suları uzun süredir evleri ve binaları ısıtmak için kullanılmaktadır. İzlanda'da, hemen hemen tüm ülkede her bina jeotermal akışkanlar ile ısıtılmaktadır (Towler, 2014). Türkiye'de jeotermal enerjinin ilk yerden ısıtma uygulaması 1964'te Gönen-Balıkesir'de bir otelde gerçekleştirilmiştir. İlk bölgesel ısıtma sistemi 1987'de 16,2 MW_t kapasiteli yine Gönen'de inşa edilmiştir (Gulden vd., 2003). 450 jeotermal kaplıca dahil 46.400 konut eşdeğerinde kaplıcalara, otellere ve devre mülk tesislerine ısıtma sağlanmaktadır. Bugün ülkede toplam 90 adet kapalı devre jeotermal ısı pompası sistemi bulunmaktadır (Lund ve Toth, 2021).

Tarımsal ve tarımsal-endüstriyel kullanımlar jeotermal enerji uygulamalarının çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Genel olarak, tarımda dört tür doğrudan jeotermal enerji uygulaması görülmektedir: sera ısıtması, tarımsal sanayi, toprak ısıtması, su ürünleri yetiştiriciliği (balık yetiştiriciliği ve alg üretimi) (Popovski, 2009). Jeotermal ısı, seralarda tarımsal ürünlerin en iyi şekilde büyümeleri için optimum sıcaklığın sağlanması amacıyla kullanılmaktadır (Soelaiman, 2016). Sebzeler, çiçekler ve meyveler bu seralarda yetişen başlıca ürünlerdir. Seraların ısıtılması için gerekli jeotermal su sıcaklığı, sera içinde gerekli sıcaklığa bağlı olarak 40 ile 100°C arasındadır (Popovski ve Vasilevska, 2003). Su, bitkiler arasında, toprağın altına veya üstüne yerleştirilmiş bakır veya çelik borulardan geçmektedir (Panagiotou, 1996). Borular içerisinde dolaşan sudan gelen ısı seradaki toprağa ve havaya aktarılır (Van Nguyen vd., 2015). Türkiye'de jeotermal sera ısıtma uygulamaları son beş yılda 4,3 milyon m²'ye ulaşmıştır (Mertoglu vd., 2019). Jeotermal ısıtmalı seraların çoğunluğu Ege bölgesindedir (Gunerhan vd., 2001). Toprak ısıtma, büyüme mevsiminin uzatılmasını ve verimi artırmak için sabit bir toprak sıcaklığının korunmasının mümkün olmasını sağlamaktadır. Seralardan gelen atıksular da bazen toprağı ısıtmak için kullanılabilir (Kumoro ve Kristanto, 2003). Jeotermal enerji; pirinç, buğday, domates, soğan, pamuk, biber ve sarımsak gibi çok çeşitli tarımsal ürünleri kurutmak için kullanılmıştır (Van Nguyen vd., 2015). Kurutma ısısı, jeotermal kuyuların sıcak suyundan veya buharından veya bir jeotermal tesisten atık ısı geri kazanılarak elde edilebilir (Vasquez vd., 1992). Son olarak jeotermal sıcak su, ısı dönüştürücülerde tatlı suyu ısıtmak için kullanılmakta veya balık yetiştiriciliği için uygun sıcaklıkları elde etmede tatlı su ile karıştırılmaktadır (Van Nguyen vd., 2015). Balık yetiştiriciliğinde jeotermal enerjinin kullanılması, balık stoklarını soğuk havaya karşı korur, suyu optimum sıcaklığa getirir ve balık üretimini artırır (Gelegenis vd., 2006). İzlanda'da jeotermal su kullanan yaklaşık 70 balık çiftliği vardır. Ayrıca İzlanda, %70'e karşılık gelen jeotermal kar eritme uygulamalarıyla da dünyaya liderlik etmektedir (Dincer ve Ozcan, 2018).

2.1. Jeotermal Enerji ve Jeotermal Suların Çevresel Etkileri

Jeotermal enerji, fosil yakıtlarla kıyaslandığında temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilebilmektedir. Bununla birlikte, jeotermal kaynakların kullanımının çevresel etkisi de oldukça önemlidir (Arnorsson vd., 2015). Jeotermal enerjiden kaynaklı doğrudan çevresel etkiler, atmosferik emisyonlardan, arazi kullanımından, katı atıklardan, su tüketiminden ve sahaya bağlı olarak biyolojik çeşitliliğe yönelik belirli tehditlerden kaynaklanmaktadır. Dolaylı çevresel etkiler ise, santral inşaatı gibi ilgili proje faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Bayer vd., 2013). Büyük ölçekli üretim, sondaj çalışmaları ve bakım, peyzaj üzerinde görsel etkiler oluşturabilmektedir. Aynı zamanda gürültü kirliliği ve atık oluşturarak hem çevreyi hem de ekonomiyi etkileyebilmektedir (Khare vd., 2019). Kısaca jeotermal enerji kullanımının genel olumsuz etkileri arasında; hava kirliliği (zararlı gaz emisyonları), su kirliliği, gürültü kirliliği, arazi kullanımı, katı atıklar, termal kirlilik, toprak çökmesi, doğal manzaraların değişmesi, sismik aktivitenin başlatılması/arttırılması, yaban hayatı ve bitki örtüsü üzerindeki etkiler sayılabilmektedir (DiPippo, 2016).

Jeotermal enerji kullanımının genel olarak en fazla endişe verici olan çevresel etkisi, hava ve su kaynaklı kirleticilerden oluşan kimyasal kirliliktir (Arnorsson vd., 2015). Jeotermal enerji

santralleri, fosil yakıt kullanan santrallere kıyasla daha az CO₂ emisyonuna sahiptir (DiPippo, 2016). Bunun yanı sıra uçucu organik maddeler/metaller jeotermal tesislerden yayılabilmektedir (Pan vd., 2019). Jeotermal buhar veya sıcak su genellikle, CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ ve az miktarda diğer gazları içermektedir. Ayrıca buhar, az miktarda cıva (Hg), bor (B) ve radon (Rn) gibi elementleri de içerebilmektedir. Bor, amonyak ve daha az miktarda cıva, yağışlar yolu ile toprak ve bitki örtüsü kirlenmesine neden olmaktadır (Barbier, 2002). Yoğuşmaz gazların büyük çoğunluğu (%95-99) CO₂ iken geri kalanı H₂S ve CH₄'tür (Aksoy, 2014). Jeotermal buharda genellikle çevresel açıdan en büyük endişe kaynağı olan gaz H₂S'tir. Bu gaz oldukça zehirli, aşındırıcı ve zararlı bir kokusu vardır (Arnorsson vd., 2015). H₂S emisyonlarının, belirli konsantrasyonlarda insanlar ve bitkiler üzerindeki zararlı etkileri olmaktadır (DiPippo, 1991). Jeotermal çalışmalar (arama, üretim aşamaları vb.) sırasında ortaya çıkan sıvı akımlarda bulunan çözünmüş mineraller yüzey veya yeraltı sularının kalitesini bozabilmektedir (Tester vd., 2006). Bu akışkanlar; insanlara, bitki örtüsüne veya faunaya zararlı mineraller ve elementler içermektedir (DiPippo, 2016). Bu nedenle, kuyu açma ve sonraki işlemler sırasında kuyuların izlenmesi oldukça önemlidir (Van Nguyen vd., 2015). Bir jeotermal enerji projesinin geliştirme aşamasında, yol yapımı, sondaj sahaları için kazı, kuyu delme ve kuyu testleri sırasında gürültü oluşmaktadır (DiPippo, 2016). Bir santralin gürültüsü, tesisin yanında veya içinde olunmadığı sürece, çok düşük olduğu için endişe konusu olarak kabul edilmemektedir (Lund, 2007a).

Jeotermal rezervuarların üstündeki jeolojik oluşum yetersiz ise, rezervuardaki su seviyesinin düşürülmesi sızmanın gözenek alanlarından boşalmasına neden olmaktadır. Bu durum çökmeyle beraber arazinin de çöküşüne neden olmaktadır (Arnorsson vd., 2015). Buna en iyi örnek, jeotermal akışkanın 50 yıl boyunca çıkarılması nedeniyle 15 m arazi çökmesi olan Wairakei jeotermal alanıdır (Allis vd., 2009). Çökme, kullanılan akışkanların yeniden enjeksiyonuyla kontrol edilebilmekte veya önlenmektedir (Barbier, 2002). 2017 yılında Güney Kore'de bulunan Pohang jeotermal alanında meydana gelen deprem insanların yaralanmasına yol açmıştır (Kim vd., 2018). Birçok jeotermal alan, doğal toprak kaymalarına eğilimli engebeli volkanik arazide bulunmaktadır (DiPippo, 2016). Santraller, buhar besleme sistemleri ve buhar boru hatlarının geçtiği alanlar özellikle engebeli arazide arazi yüzeyini bozmaktadır. Yağışlarla birlikte, toprak kaymalarına ve yüksek toprak erozyon oranlarına neden olabilmektedir (Arnorsson vd., 2015). Bir jeotermal tesiste meydana gelebilecek diğer ciddi olaylar arasında kuyu patlamaları, yeraltı suyu patlamaları, yırtılmış buhar boruları, türbin arızaları, yangınlar vb. bulunmaktadır (DiPippo, 2016). Jeotermal enerji gelişimi, özellikle enerji santralleri ve iletim hatlarının inşası tarımsal kaynaklar üzerinde etki oluşturabilmektedir. İnşaat faaliyetleri, vahşi yaşamı tahrip ettiğinde, üreme, göç durumlarını bozduğunda, habitat kalitesini ve tür çeşitliliğini azalttığına ekolojik kaynaklar üzerinde etkileri vardır (Van Nguyen vd., 2015). Jeotermal enerji santrali için düşünülen herhangi bir alan, yaban hayatı ve bitki örtüsü üzerindeki etki için incelenmeli ve bir azaltma planı sağlamalıdır (Lund, 2007b). Jeotermal santrallerde üretilen katı atık miktarı düşük olduğu için önemli bir çevresel sorun oluşturmamaktadır (DiPippo, 2012). Bu tesislerdeki katı atık, esas olarak sondaj çamuru ve sondaj açma sırasında üretilir. Diğer kirleticiler ise ambalaj atıkları, kauçuk atıkları, filtreler, kentsel atıklar ve bazı metaller gibi çeşitli atıklardır. Jeotermal santral ekipmanlarının doğru kurulumu, periyodik kontrolü, toprak ve su izleme çalışmalarının tam zamanlı yapılması, katı atık/tehlikeli atık

ayırma ve depolama ile atık oluşumu azaltılabilmektedir (Soltani vd., 2021).

Orta ve yüksek sıcaklıktaki jeotermal sistemler için jeotermal enerji santrallerinin çalışmasında tortulaşma ve korozyon sorunları gözlemlenebilmektedir. Korozyon ve tortu problemleri enerji üretiminde ciddi zorluklar yaratmakta ve jeotermal yatırımcının toplam işletme maliyetini artırabilmektedir (Kaya ve Hoşhan, 2005). Tortu ve korozyon, doğrudan jeotermal akışkanın özellikleri ile ilgilidir (Finster vd., 2015). Tortulaşma, jeotermal sulardaki bazı minerallerin, basınç ve sıcaklık gibi termodinamik koşullardaki değişimin eşlik ettiği bir çökeltidir (Tut Haklidir ve Haklidir, 2017). Basınç, sıcaklık veya kaya kimyasının aniden değiştiği yerlerde, minerallerin çökmesi tesisat sisteminin tıkanmasına neden olmaktadır (GC, 2019). Sulu çözeltilerde gözlemlenen tortulaşma birikimleri: kalsiyum karbonat (kalsit), kalsiyum sülfat, kalsiyum oksalat, baryum sülfat (barit), magnezyum hidroksit, silikatlar (serpantin, amorf silika, kuvars), alüminosilikatlar, alüminyum oksit hidroksitleri, bakır ve fosfatur (Hoang, 2015). Silika (SiO_2), jeotermal rezervuarlarda rastlanılan temel bileşendir (Van den Heuvel vd., 2018). Silika minerali gerek jeokimyası gerek çözünürlüğü bağlamında en zorlu tortu türlerinden biridir (Tut Haklidir ve Haklidir, 2017). Silika tortulaşması, boru hatlarında jeotermal akışkanın hidrolik akış kapasitesini düşürür (Pambudi vd., 2015). Silisli tortu birikimini kontrol etmek için jeotermal tuzlu su ve soğutma sularında organik tortu önleyiciler, tortulaşmayı ve korozyonu azaltmak için kullanılmaktadır (Gallup ve Hirtz, 2015). Korozyon ise, jeotermal akışkan ve proses ekipmanının iç yüzeyleri arasındaki kimyasal etkileşimlerden kaynaklanmaktadır (Finster vd., 2015). Sıcak jeotermal tuzlu sular son derece korozyiftir. Bu nedenle metalik malzemelerinin korozyonu jeotermal endüstrisindeki operatörler için endişe kaynağıdır (Mundhenk vd., 2013). Korozyon genellikle, yüksek sıcaklığa sahip ve kullanılmış tuzlu suda aşındırıcı türlerin varlığından kaynaklanmaktadır. Bu ana türler şunlardır: oksijen, hidrojen iyonu konsantrasyonu (veya pH), klorür iyonu, hidrojen sülfür (H_2S), karbon dioksit (CO_2), karbonat (CO_3^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-) iyonları, amonyak (NH_3), amonyum iyonu (NH_4^+) ve sülfat (SO_4^{2-}) iyonu (Nogara ve Zarrouk, 2018). Korozyon genellikle, tesis tasarım sürecinde korozyona dayanıklı malzemelerin kullanılması ile yönetilebilmektedir (Clark vd., 2010).

Jeotermal akışkanlar; jeotermal enerji arama, saha geliştirme ve elektrik santrali işlemlerinin çeşitli aşamalarında yerinde üretilen sıvı çeşitlerini kapsamaktadır. Genel olarak, jeotermal tesislerde üretilen sular bir kuyudan çıkan ve kullanılan akışkanı içermektedir (Finster vd., 2015). Yüksek sıcaklıktaki jeotermal sistemlerde, sıvı-kaya etkileşiminin daha uzun olması nedeniyle, jeotermal sular büyük miktarda kimyasal türü çözebilmektedir (Cao vd., 2017). Jeotermal rezervuardan yüksek sıcaklıkta ve genellikle yüksek basınç altında çıkan sıvı; silika, borik asit ve metalik tuzlar gibi çok yüksek miktarda çözünmüş mineral içermektedir. Hidrojen sülfür ve karbondioksitte sıklıkla bulunmaktadır (Breeze, 2019). Yüksek sıcaklıktaki jeotermal suların çoğu, alüminyum, bor, arsenik, kadmiyum, kurşun, cıva ve bazen florür gibi toksik kimyasallardan en az birinin yüksek konsantrasyonlarını içerebilmektedir (GC, 2019). Suyun hâkim olduğu jeotermal sistemlerde, derinliklerde bulunan en yaygın birincil akışkan tipi, başta CO_2 olmak üzere gaz içeren sodyum-klorür tuzlu sularıdır (Barbier, 2002). Jeotermal suların pH değerleri ortalama 7.3 civarında olup, 5-10 arasında değişkenlik göstermektedir (Finster vd., 2015).

Bir jeotermal projenin geliştirilmesinin her aşamasında suya ihtiyaç vardır. Çoğu durumda çevresel etkileri en aza indirmek için su kullanımı yönetilebilmektedir. Su kullanımının iki ana alanı, kuyu sondajı ve su soğutma kulesi kullanılıyorsa atık ısının boşaltılmasıdır (DiPippo, 2016). Tesislerdeki su soğutma kuleleri, suyun %50'den fazlasını tüketmektedir (Clark vd., 2010). Nehirlerin ve göllerin su kirliliği, enerji üretiminde ve kullanılan jeotermal akışkanların yönetiminde potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır (Barbier, 2002). Jeotermal santrallerden gelen atıksular, deşarj ortamlarından daha yüksek bir sıcaklığa sahiptir. Bu sular, nehirler, göller ve deniz ekosistemini korumak için depolama havuzlarında veya tanklarda soğutulabilmektedir (Dickson ve Fanelli, 2004). Atıksu yüzeyde bertaraf edilirse, sığ yeraltı suları, akarsu ve diğer yüzey suları termal olarak kirlenebilmektedir (Arnorsson vd., 2015). Ayrıca santralden gelen buhar akışı da (buhar ejektörleri, soğutma kuleleri), hem görsel hem de termal kirlenmelere yol açmaktadır. Bir jeotermal sondaj deliğinden gelen konsantrasyon tuzlu su genellikle aşındırıcıdır ve yerel yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmesine neden olabilir (Breeze, 2019). Jeotermal akışkan deşarjlarının bileşimleri Li, B, As, NH_3 , Hg, Cl ve H_2S içerebilmektedir. Bu maddeler sucul yaşam, sulama suyu, yüzeysel sular ve insanlar için içme suyu üzerinde toksik çevresel etkileri olabilmektedir (Purnomo ve Pichler, 2014). Jeotermal atıksuyun, bir kullanım tesisinden deşarjı sonucu bir su kütesinin sıcaklığındaki sadece 2-3°C'lik bir artış su ekosistemine ciddi zararlar verebilir. Su sıcaklığındaki artış, balık türlerinin yumurtalarının gelişimini de engelleyebilmektedir (Dickson ve Fanelli, 2004). Sonuç olarak, jeotermal enerji tesislerinden gelen tüm deşarj sınırlarını toplamak ve yeniden enjeksiyon yoluyla enjekte etmek iyi bir uygulamadır (DiPippo, 1991). Jeotermal enerji kullanımının ilk yıllarında, atıksu genellikle mevcut en ucuz yöntemlerle bertaraf edilmiştir. Bu yöntemler, en yakın akarsuya ya da bu amaç için inşa edilmiş göletler içine yüzeysel deşarj şeklindedir (Arnorsson vd., 2015). Jeotermal tesislerde çevre üzerindeki diğer bir etki ise sondaj arama ve keşif/üretim kuyusu açma çalışmaları sırasında meydana gelen patlamalardır. Patlamalar yüzey suyunu kirlitebilir. Bu nedenle yüksek sıcaklıkların ve basınçların bulunduğu jeotermal kuyuları açarken patlama önleyiciler kurulmalıdır (Lienau ve Lunis, 1991). Kuyu açma veya akış işlemleri sırasında, istenmeyen gazlar atmosfere salınabilmektedir (Dickson ve Fanelli, 2004). Son olarak, tesislerin işletimi sırasında üretilen tüm akışkanların yeniden enjekte edilmesi durumunda, yüzey kirliliği önemli bir zorluk olarak kabul edilmeyebilir (Pan vd., 2019).

3. Sonuç ve Tartışma

Jeotermal enerji; magma tarafından ısıtılan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözünmüş mineraller ve gazlar içeren sıcak su ve buharın taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanabilmektedir. Jeotermal akışkanı oluşturan sular, yeraltındaki haznelere sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Yüzeysinden sızan sular, kırık ve çatlaklardan yer kabuğunun derinliklerine inerek ısınmaktadırlar. Daha sonra tekrar sıcak olarak yeryüzüne çıkmaktadırlar. Bu nedenle, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir. Jeotermal kaynağın yenilenebilir, sürdürülebilir, temiz ve ucuz olması ülkeleri jeotermal kaynak kullanımına yönlendirmiştir. Bu nedenle jeotermal kaynaklar, ülkeler için önemli bir enerji kaynağı konumuna gelmeye başlamıştır. Jeotermal kaynaklar yaygın kullanım alanına sahiptir. Ülkemizde elde edilen jeotermal enerjiden elektrik üretimi, ısıtma (sera ve konut), termal ve sağlık turizmi, endüstriyel mineral

eldesini ve kurutmacılık gibi alanlarda yararlanılmaktadır. Bununla birlikte, jeotermal kaynak kullanımının çeşitli zararlı etkileri de mevcuttur. Jeotermal kaynaklar beraberinde çıkardığı kükürt oksitler (SO_x) nedeniyle asit yağışları oluşturabilmektedir. Jeotermal buharda bulunan CO₂'nin hava kirliliğine yol açtığı görülmektedir. Jeotermal kaynaklar, toksik etkisi olduğu bilinen H₂S gazını da içermektedir. Bu gaz özellikle koku kirliliği oluşturmaktadır. Jeotermal sular, magmatik kökenli ve derinlikteki kayalarla aşındırarak, bünyesine bu kayaların mineral ve tuzluluk özelliklerini almaktadırlar. Yeryüzüne çıktıklarında ise, yüzeysel akış sularıyla karışarak bu suların fiziksel, kimyasal, biyolojik yapılarını bozmaktadırlar. Ayrıca, yüksek sıcaklık içeren jeotermal kaynak suları, hem hayvanların hem de bitkilerin zarar görmesine neden olmaktadır. Yeraltından büyük miktarda su çekilmesi ile rezervuar gözenekleri boşalmakta ve bunun sonucunda çökmeler görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, sondajlı çalışmaları sonucu üretilen akışkanlarda çeşitli kimyasal kirleticilerle karşılaşılabilir (bor, arsenik, lityum vb). Ancak bu sorun, uygun ortam şartlarında tekrar enjeksiyon yapılarak aşılabilir çalışılmaktadır. Jeotermal akışkanların sondaj kuyularında ve tesisatta akışı sırasında tortulaşma ve korozyon problemleriyle de karşılaşılabilir. Bu durumlar, rezervuar basıncının yüksek tutulması veya korozyon önleyici inhibitörlerin kullanımı ile engellenmektedir.

Jeotermal akışkanların, nehir veya akarsuya deşarj edilmesi durumunda yüzeysel su kirliliği oluşmaktadır. Jeotermal kirleticiler, sucul ekosistem ve karasal ortamı etkilemektedir. Ayrıca bu kirleticiler, yüzeysel sulara karışarak su kimyasını büyük ölçüde değiştirebilmektedir. Jeotermal atıksular ciddi miktarlarda bor içermektedir. Aynı zamanda, lityum, arsenik, cıva, hidrojen sülfür ve amonyak gibi çeşitli kirleticileri de bulundurabilmektedirler. Günümüzde, jeotermal atıksuyun uzaklaştırılması için en çok kullanılan yöntem kullanılan suyun yeraltına yeniden enjekte edilmesidir. Tekrar enjeksiyon işlemi ile hem kirlilik problemleri elimine edilmekte hem de sıcak suyun tekrar rezervuara beslenmesi sağlanarak ısı ve hidrolik kayıplar azaltılmaktadır. Fakat bu durum pratikte birçok jeotermal sahada uygulanamamakla birlikte kirlilik ve doğal afet sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar hatalı tekrar enjeksiyon sonucunda yeraltı suyu kirliliği ve mikro depremler olarak bilinmektedir. Ek olarak, giderek artan kullanım nedeniyle çeşitli bertaraf yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir. Bu bağlamda, çeşitli kirleticiler içeren jeotermal suların verimli ve ekonomik arıtma yöntemleriyle arıtılması gerekmektedir. En çok kullanılan arıtma yöntemleri; iyon değişimi, adsorpsiyon, elektrokoagülasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz ve çeşitli hibrit proseslerdir. Bu arıtma teknikleri ile jeotermal suların içerdiği çeşitli kirleticiler uzaklaştırılarak sulama ve benzeri amaçlı kullanımı sağlanabilmektedir.

4. Teşekkür

Yazar Saadet ACAR, 100/2000 Yükseköğretim Kurulu (YÖK) doktora programı kapsamında "Sürdürülebilir Su Kaynakları" tematik alanında doktora bursiyeridir.

Kaynakça

- Aksoy, N. (2014). Power generation from geothermal resources in Turkey. *Renewable Energy*, 68, 595-601.
- Allis, R., Bromley, C., & Currie, S. (2009). Update on subsidence at the Wairakei-Tauhara geothermal system, New Zealand. *Geothermics*, 38(1), 169-180.

- Al-Mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y., & Sab, C. N. B. C. (2013). Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 209-222.
- Anderson, A., & Rezaie, B. (2019). Geothermal technology: Trends and potential role in a sustainable future. *Applied Energy*, 248, 18-34.
- Arnorrsson, S., Thorhallsson, S., & Stefansson, A. (2015). Chapter 71-Utilization of Geothermal Resources. *The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition)*, pp. 1235-1252.
- Aydınöz, M. (2005). Afyonkarahisar Bölgesinde Bulunan Kaplıca Sularının Mevsimsel Analizi. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Afyonkarahisar.
- Baba, A., Uzelli, T., & Sozibilir, H. (2021). Distribution of geothermal arsenic in relation to geothermal play types: A global review and case study from the Anatolian plate (Turkey). *Journal of Hazardous Materials*, 125510.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), 3-65.
- Bayer, P., Rybach, L., Blum, P., & Brauchler, R. (2013). Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 446-463.
- Bertani, R. (2016). Deep geothermal energy for heating and cooling. In *Renewable Heating and Cooling* (pp. 67-88). Woodhead Publishing.
- Breeze, P. (2019). Chapter 12-Geothermal Power. *Power Generation Technologies (Third Edition)*, pp. 275-291.
- British Petroleum (BP), 2019. BP Statistical Review of World Energy. p. 9, London, UK.
- Cao, Y., Guo, Q., Zhuang, Y., Yu, Z., Guo, W., Zhang, C., ... & Ren, T. (2017). Removal of harmful constituents from geothermal water by selected anion clays. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 161-164.
- Clark, C. E., Harto, C. B., Sullivan, J. L., & Wang, M. Q. (2010). Water use in the development and operation of geothermal power plants (No. ANL/EVS/R-10/5). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- Çakın, A., Gökçen, G., & Eroğlu, A. (2005). Jeotermal Uygulamaların Çevresel Etkileri: Balçova Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Örneği.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2004). What is geothermal energy? International geothermal association. <http://users.metu.edu.tr/mahmut/pete450/Dickson.pdf> Erişim tarihi: 07.10.2019.
- Dincer, I., & Ozcan, H. (2018). Geothermal Energy. *Comprehensive Energy Systems*, vol. 1, pp. 702-732.
- DiPippo, R. (1991). Geothermal energy electricity generation and environmental impact. *Energy Policy*, 19(8), 798-807.
- DiPippo, R. (2012). Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact. Butterworth-Heinemann.
- DiPippo, R. (2016). Chapter 23-Environmental Impact of Geothermal Power Plants. *Geothermal Power Plants (Fourth Edition)*, pp. 657-684.
- DiPippo, R., Renner, J. L. (2014). Geothermal energy. In *Future Energy* (pp. 471-492). Elsevier.
- Enerji Atlası, (2021). Jeotermal Enerji Santralleri. <https://www.enerjiatlası.com/jeotermal/> Son Erişim Tarihi: 03.04.2021.

- Enerji Portalı, (2021). Dünyada ve Ülkemizde Yenilenebilir Enerjinin Geleceği. <https://www.enerjiportali.com/dunyada-ve-ulkemizde-gelecek-yenilenebilir-enerjinin/> Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2021. Yenilenebilir Enerji, Kaynaklar, Jeotermal. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal> Son Erişim Tarihi: 04.04.2021.
- Er, S. (2016). Aydın-Buharkent Yöresindeki Jeotermal Sularında Bazı Kirlenici Parametrelerin Araştırılması. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, Aydın.
- ETKB, (2020). 2019-2023 Stratejik Planı. https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2020/05/ETKB-2019-2023_Stratejik_Plan%C4%B1.pdf Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.
- Finster, M., Clark, C., Schroeder, J., & Martino, L. (2015). Geothermal produced fluids: Characteristics, treatment technologies, and management options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 952-966.
- Gallup, D. L., & Von Hirtz, P. (2015). Control of silica-based scales in cooling and geothermal systems. *In Mineral Scales and Deposits* (pp. 573-582). Elsevier.
- Gelegenis, J., Dalabakis, P., & Ilias, A. (2006). Heating of a fish wintering pond using low-temperature geothermal fluids, Porto Lagos, Greece. *Geothermics*, 35(1), 87-103.
- Geothermal Communities (GC), 2019. Geothermal Systems and Technologie-Chemistry of Thermal Fluids. pp. 36-47, <https://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/3.2.Corrosion&Scalling.pdf> Available: 21.10.2019.
- Gezmiş Yavuz, E. (2018). Hava Boşluklu/Vakum Membran Distilasyonu Prosesleri Kullanılarak Jeotermal Sulardan Bor Giderimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İstanbul.
- Gokcen, G., Kocar, G., & Hepbasli, A. (2003). Year-end geothermal development status of Turkey, 2002. *Proceedings of IGC2003, "Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources"*, Iceland S, 10, 9-13.
- Gunerhan, G.G., Kocar, G., & Hepbasli, A. (2001). Geothermal Energy Utilization in Turkey. *International Journal of Energy Research*, 25(9), 769-784.
- Haklıdır, F. T., & Haklıdır, M. (2017). Fuzzy control of calcium carbonate and silica scales in geothermal systems. *Geothermics*, 70, 230-238.
- Hepbasli, A., & Canakci, C. (2003). Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of Izmir-Balcova. *Energy Conversion and Management*, 44(8), 1285-1301.
- Hepbasli, A., & Ozgener, L. (2004). Development of geothermal energy utilization in Turkey: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(5), 433-460.
- Hoang, T. A. (2015). Mechanisms of scale formation and inhibition. *In Mineral Scales and Deposits* (pp. 47-83). Elsevier.
- Hondo, H., & Moriizumi, Y. (2017). Employment creation potential of renewable power generation technologies: A life cycle approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 128-136.
- Huttrer, G. W. (2020, April). Geothermal power generation in the world 2015-2020 update report. *In Proceedings World Geothermal Congress* (Vol. 2020, p. 17).
- İlgar, R. (2005). Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklarda Dualist Yaklaşım. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi (elektronik)*, 4 (13), 88-98.
- International Geothermal Association (IGA), 2018. Geothermal Quick Guide, International Geothermal Association Inc. pp. 1-9. <https://www.geothermal-energy.org/explore/what-is-geothermal/> Erişim tarihi: 28.09.2019.
- Kalıncı, Y. (2006). Dikili'de Jeotermal Bölgesel Isıtma Sisteminin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, İzmir.
- Kaya, T., & Hoshan, P. (2005, April). Corrosion and material selection for geothermal systems. *In Proceedings World Geothermal Congress* (Vol. 2005, pp. 24-29).
- Ketilsson, J., Petursdottir, H. T., Thoroddsen, S., Oddsdottir, A. L., Bragadottir, E. R., Guðmundsdóttir, M., & Johannesson, G. A. (2015). Legal framework and national policy for geothermal development in Iceland. *In Proceedings of the 2015 World Geothermal Congress* (WGC, 2015).
- Khare, V., Khare, C., Nema, S., & Baredar, P. (2019). Chapter 1- Introduction to Energy Sources. *Tidal Energy Systems*, pp. 1-39.
- Kim, K. H., Ree, J. H., Kim, Y., Kim, S., Kang, S. Y., & Seo, W. (2018). Assessing whether the 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake in South Korea was an induced event. *Science*, 360(6392), 1007-1009.
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
- Kumoro, A. C., & Kristanto, D. (2003). Preliminary study on the utilization of geothermal energy for drying of agricultural product.
- Külekcı, Ö.C. (2010). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, sf. 83-91, Ankara.
- Li, K., Bian, H., Liu, C., Zhang, D., & Yang, Y. (2015). Comparison of geothermal with solar and wind power generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1464-1474.
- Lienau, P. J., & Lunis, B. C. (1991). Geothermal direct use engineering and design guidebook. *NASA STI/Recon Technical Report N*, 92, 24030.
- Lund, J. W. (2007b). Development and utilization of geothermal resources. *In Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I-Vol. V)* (pp. 87-95). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66-93.
- Lund, J. W., & Toth, A. N. (2020). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*, 101915.
- Lund, J.W. (2007a). Characteristics, Development and Utilization of Geothermal Resources. Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, pp. 1-9.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2021. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>. Erişim tarihi: 02.04.2021.
- Melikoglu, M. (2017). Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 485-492.
- Mertoglu, O., Simsek, S., Basarir, N., & Paksoy, H. (2019, June). Geothermal energy use, country update for Turkey. *In*

- Proceedings of the European Geothermal Congress*, Den Haag, The Netherlands (pp. 11-14).
- Mundhenk, N., Huttenloch, P., Sanjuan, B., Kohl, T., Steger, H., & Zorn, R. (2013). Corrosion and scaling as interrelated phenomena in an operating geothermal power plant. *Corrosion Science*, 70, 17-28.
- Nogara, J., & Zarrouk, S. J. (2018). Corrosion in geothermal environment: Part 1: Fluids and their impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1333-1346.
- Özbek, T. (2011). Jeotermal Kaynakların Sağlık ve Termal Turizmde Değerlendirilmesi. *Jeofizik Bülteni*, 68, 27-37.
- Pambudi, N. A., Itoi, R., Yamashiro, R., Alam, B. Y. C. S., Tusara, L., Jalilinasrabad, S., & Khasani, J. (2015). The behavior of silica in geothermal brine from Dieng geothermal power plant, Indonesia. *Geothermics*, 54, 109-114.
- Pan, S. Y., Gao, M., Shah, K. J., Zheng, J., Pei, S. L., & Chiang, P. C. (2019). Establishment of enhanced geothermal energy utilization plans: barriers and strategies. *Renewable Energy*, 132, 19-32.
- Panagiotou, C. (1996). Geothermal greenhouse design. United Nations University. pp. 219-250.
- Popovski, K. (2009). Agricultural and Industrial Uses of Geothermal Energy in Europe. International Geothermal Days Slovakia, Conference & Summer School, Castá-Papiernicka, Slovakia, Session III.1, p. 11, 2009.
- Popovski, K., & Vasilevska, S. P. (2003). Prospects and problems for geothermal use in agriculture in Europe. *Geothermics*, 32(4-6), 545-555.
- Purnomo, B. J., & Pichler, T. (2014). Geothermal systems on the island of Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285, 47-59.
- Santos, J. J., Rodríguez, C. E., Carvalho, M., Barone, M. A., Palacio, J. C., & Carrillo, R. A. (2018). Geothermal Power. In *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (pp. 173-205). Elsevier.
- Shortall, R., Davidsdottir, B., & Axelsson, G. (2015). Geothermal energy for sustainable development: A review of sustainability impacts and assessment frameworks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 44, 391-406.
- Soelaiman, T.A.F. (2016). Chapter 7-Geothermal Energy. *Electric Renewable Energy Systems*, 114-139.
- Soltani, M., Kashkooli, F. M., Souri, M., Rafiei, B., Jabarifar, M., Gharali, K., & Nathwani, J. S. (2021). Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110750.
- Sowizdzal, A. (2018). Geothermal energy resources in Poland—overview of the current state of knowledge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 4020-4027.
- Tester, J. W., Anderson, B. J., Batchelor, A. S., Blackwell, D. D., DiPippo, R., Drake, E. M., Garnish, Livesay, J., Moore, B., Nichols, M.C., Petty, K., Toksoz, S., & Veatch, M.N.R.W. (2006). The future of geothermal energy. *Massachusetts Institute of Technology*, 358.
- Toth, A., & Bobok, E., Chapter 1-What Is Geothermal Energy? *Flow and Heat Transfer in Geothermal Systems*, pp. 1-19.
- Towler, B.F. (2014). Chapter 11-Geothermal Energy. *The Future of Energy*, pp. 237-256.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), 2021. Santral Kurulu Güç Raporları, Şubat 2021 Kurulu Güç Raporu. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.
- Türkiye Jeotermal Derneği (TJD), 2021. Dünya’da Jeotermal. <http://www.jeotermalderneği.org.tr/sayfalar-Dunya-da-Jeotermal>. Son Erişim Tarihi: 02.04.2021.
- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (TSKB) Enerji Bülteni, (2021). Aylık Enerji Bülteni Şubat 2021. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-bulteni-subat-2021.pdf> Son Erişim Tarihi: 04.04.2021.
- Van den Heuvel, D. B., Gunnlaugsson, E., Gunnarsson, I., Stawski, T. M., Peacock, C. L., & Benning, L. G. (2018). Understanding amorphous silica scaling under well-constrained conditions inside geothermal pipelines. *Geothermics*, 76, 231-241.
- Van Nguyen, M., Arason, S., Gissurarson, M., & Pálsson, P. G. (2015). Uses of geothermal energy in food and agriculture. *Opportunities for Developing Countries*.
- Vasquez, N. C., Bernardo, R. O., & Cornelio, R. L. (1992). Industrial uses of geothermal energy a framework for application in a developing country. *Geothermics*, 21(5-6), 733-743.
- Xia, L., & Zhang, Y. (2019). An overview of world geothermal power generation and a case study on China-The resource and market perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 411-423.
- Yanar, P. (2015). Ege Bölgesi Jeotermal Sularında Lityum, Bor ve Arsenik Düzeylerinin İncelenmesi ve Bu Elementlerin Jeotermal Sulardan Seçimli Olarak Ayrılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 171s, İzmir.
- Yavuz, E. (2010). Removal of Boron from Geothermal Waters by Reverse Osmosis Method. Ege University Graduate School of Applied and Natural Sciences, Master of Science Thesis, p. 134, İzmir.
- Yılmaz-İpek, İ. (2009). Boron Removal from Geothermal Water by Ion Exchange-Membrane Filtration Hybrid Process. Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis, p. 268, İzmir.



Solunum Hastalıkları ile İlişkili Semptom Seslerinin Sınıflandırılması

Mesut Melek

Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7152-7788),
mesutmelek@gumushane.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999265)

ATIF/REFERENCE: Melek M. (2021). Solunum Hastalıkları ile İlişkili Semptom Seslerinin Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 333-337.

Öz

Covid-19 gibi solunum yolu enfeksiyonlarının erken tespiti, hastalığın daha kolay tedavisine ve hastanın daha rahat bir süre geçirmesine yol açarak ciddi komplikasyon olasılığını azaltabilir. Öksürme ve hapsirme gibi solunum seslerinin sıklığı, şiddeti ve türü (kuru veya balgamlı), hastalığın teşhisi, tedavisi ve davranışlarının tespitinde tıp uzmanları için çıkarılabilen zengin bilgiler taşımaktadır. Bunun için, makine veya derin öğrenimine dayalı otomatik yaklaşımların geliştirilmesi oldukça önemlidir. Center for Open Science (OSFHOME), 2020 yılında güncellediği veri küme üzerine, bu alanda çalışan araştırmacıları, ses kayıtlarını kullanarak hastalık seslerinin otomatik algılanması için makine öğrenimi modelleri oluşturmaya davet etti. Veri seti, "Pfizer Digital Medicine Challenge" için oluşturulmuştur ve amacı öksürme ve hapsirme gibi seslerinin tespiti için makine öğrenimi modellerinin geliştirilmesidir. Veri seti üç parçaya ayrılmıştır; eğitim, doğrulama ve test kümeleri. Sunulan çalışmada, bu veri seti üzerine yeni bir makine öğrenimi sistemi önerildi. Eğitim, doğrulama ve test örneklerinden öznitelikler elde edildikten sonra, dört farklı sınıflandırıcının parametrelerini hesaplamak için doğrulama veri kümesi kullanıldı ve son aşamada test veri kümesi üzerine sınıflandırma gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlara göre, radyal tabanlı çekirdek fonksiyonlu destek vektör makine (DVM) sınıflandırıcısı solunum seslerini diğer seslere karşı, %76 civarında bir doğruluk oranıyla diğer sınıflandırıcılara göre daha başarılı sınıflandırdı.

Anahtar Kelimeler: Solunum sesleri, Sınıflandırma, Makine öğrenimi, COVID-19, Öksürük, Hapsirlik.

Classification of Symptom Sounds Associated with Respiratory Disease

Abstract

Early detection of respiratory infections such as Covid-19 can lead to the easier treatment of the disease and a more comfortable time for the patient, reducing the likelihood of serious complications. The frequency, severity, and type (dry or phlegm) of respiratory sounds such as coughing and sneezing carry a wealth of information that can be extracted for medical professionals in diagnosing the disease, treating it, and determining its behavior. For this, it is very important to develop automated approaches based on machine or deep learning. Center for Open Science (OSFHOME) invited researchers working in this field to create machine learning models for automatic detection of the disease sounds using sound recordings, based on the dataset it updated in the 2020 year. The dataset was created for the "Pfizer Digital Medicine Challenge" and its purpose is to develop machine learning models for detecting sounds such as coughing and sneezing. The dataset is divided into three parts; training, validation, and test sets. In the presented study, a new machine learning system is proposed on this dataset. After the features were obtained from the training, validation, and test samples, the validation dataset was used to calculate the parameters of the four different classifiers, and in the final stage, the classification was performed on the test set. According to the results, the radial-based kernel function support vector machine (RBF-SVM) classifier classified respiratory sounds against other sounds more successfully than other classifiers with an accuracy rate of around 76%.

Keywords: Respiratory sounds, Classification, Machine learning, COVID-19, Cough, Sneeze.

1. Giriş

Solunum yolu hastalıkları dünyada önde gelen ölüm nedenlerinden biridir. Dolayısıyla, bu hastalıkların doğru ve erken teşhisi ve değerlendirilmesi son derece önemlidir. Solunum seslerinin otomatik analizi, son yıllarda büyük bir araştırma alanı olmuştur [1]. Solunum hastalıklarıyla ilişkili semptom seslerinin otomatik sınıflandırılması, solunum fonksiyon bozukluğunun erken evrelerindeki anormallikleri tespit etme ve böylece karar vermenin etkinliğini artırma potansiyeline sahiptir [2]. 2019 yılının son aylarında dünya çapında yayılan, ölümcül COVID-19 hastalığı da solunum yollarından aşağı inerek akciğerlere zarar veriyor ve şiddetli akut solunum sendromuna neden oluyor. En erken belirtilerinden biri öksürük olan bu hastalığın nedeni ise insan oğlunun karşılaştığı en bulaşıcı virüs türlerinden biri olan korona virüsüdür [3]. Bunun için, bahsedildiği gibi, öksürük ve hapşırma gibi solunum hastalıkları ile ilişkili semptom seslerinin otomatik sınıflandırılması günümüzde daha da önemli hale gelmiştir.

Literatürde, öksürük sesi tanıma üzerine yapılan birçok çalışmaya rastlamaktayız. Bu çalışmaların bazıları öksürük sesinin diğer seslerden ayırt edilmesi üzerine yapılırken, bazıları ise öksürük türlerinin sınıflandırmasına yönelik yapılmıştır. Genel olarak, bu çalışmalarda, öksürük seslerinin sinyal işleme analizi yoluyla sınıflandırılabilceği gösterilmiştir.

Öksürük türlerinin sınıflandırması üzerine yapılan bir çalışmada, Abeyratne ve ark. [4] pnömoni, astımlı ve bronşit öksürüklerindeki farklılıkları analiz ettiler ve görselleştirdiler. Bu çalışmada, öksürükler pnömoni veya pnömoni olmayan öksürükler olarak iki sınıfa ayrıldı. Sınıflandırıcı olarak lojistik regresyon modeli oluşturuldu ve zaman serisi istatistikleri, formant-frekans takibi ve genel zamansal-spektral enerji tabanlı özelliklerin bir kombinasyonunu kullandı. Sistemin hassasiyeti %94 ve özgüllüğü %75 elde edildi. Swarnkar ve ark. [5] tarafından sunulan bir çalışmada, öksürük sesleri ıslak veya kuru olarak ikiye ayrıldı. Çalışmada, Spektral enerji, zamansal zarf ve basıklık gibi zamandan bağımsız dalga formu istatistikleri olmak üzere çeşitli sinyal işleme yöntemleri kullanıldı. Al-khassawneh ve Abdelrahman [6] tarafından yapılan bir çalışmada, astımlı hastaların öksürükleri, astımlı olmayan hastalarınkinden farklı enerji imzasına sahip olduğu kanıtlandı. 2011 yılında yapılan bir çalışmada [7], öksürük seslerini analiz etmek ve kuru ve ıslak öksürük seslerini ayırt etmek için kullanılacak iki özellik tanımlanmıştır. Bu özellikler, enerji zarfının tepe sayısı ve öksürük sinyalinin ikinci fazının iki frekans bandının güç oranıdır. Ancak sadece sekiz kuru ve sekiz ıslak öksürük sesi kullanılarak net bir ayırım gözlemlendi. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada [8], 131 denekten akıllı telefonlar tarafından toplanan öksürük sesinin akustik özelliklerine dayanan objektif bir yaklaşım önerilmiştir. Islak ve kuru öksürük sınıflandırması için sistemin duyarlılığı %88 ve özgüllüğü %86 olarak hesaplandı.

Öksürük tespiti yapan sistemler için de birçok çalışma mevcuttur. [9]'de gürtütlü bir ortamda öksürüklerin tespiti için bir ön işleme yöntemi önerilmiştir. Ön işleme aşamasında dördüncü dereceden bir Butterworth yüksek geçiş filtresi kullanılarak, DVM sınıflandırıcısıyla öksürük seslerinin otomatik analizi için bir metodoloji sunuldu. [10]'da, ön işleme aşamasında bir akustik başlangıç detektörü kullanan bir öksürük tespit sistemi önerilmiştir. Uzun-kısa süreli-bellek derin sinir ağı mimarisine dayanan bu sistem, %90 duyarlılık ve %99 özgüllüğe sahiptir. Barata et al. [11], çeşitli mobil cihazlarda mevcut öksürük

algılama modellerinin ölçeklenebilirliğini sağlamak için bir çalışma yürütmüştür. Yazarlar, 43 denekle yapılan bir laboratuvar çalışmasında 5 farklı kayıt cihazı ile 6737 öksürük örneği ve 8854 kontrol sesi kaydederek cihazlar arasında farklı yöntemlerin performansını araştırdı. Cihazlar arası çakışmayı azaltmak için verimli bir evrişimli sinir ağı mimarisi ve topluluk tabanlı bir sınıflandırıcı kullanarak, %85,9 ile %90,9 arasında ortalama doğruluk elde edildi. Önerilen yöntemler, cihazlar arasında tutarlılık, ölçeklenebilirlik ve cihazdan bağımsız öksürük tespitini kanıtlamaktadır.

Bu çalışmada, Center for Open Science (OSFHOME) [12] tarafından hazırlanan ve 2020 yılında güncellenen veri seti [13] üzerine, yeni bir makine öğrenimine dayalı öksürük ve hapşırma sesi tespit sistemi önerildi. OSFHOME bu alanda çalışan araştırmacıları bu veri kümesini kullanarak, hastalık seslerinin otomatik algılanması için makine öğrenimi modelleri oluşturmaya davet ediyor. Veri seti, "Pfizer Digital Medicine Challenge" için oluşturulmuştur ve eğitim, doğrulama ve test veri kümeleri olarak, üç parçaya ayrılmıştır. Eğitim, doğrulama ve test örneklerinden öznelilikler elde edildikten sonra, dört farklı sınıflandırıcının parametrelerini hesaplamak için doğrulama veri kümesi kullanıldı ve son aşamada test veri kümesi üzerine sınıflandırma gerçekleştirildi. Daha önce bu veri seti üzerine yapılan bir çalışma olmadığından ve literatür taraması yapıldığında hapşırma ve öksürük sesleri aynı sınıfta diğer seslere karşı sınıflandırılmadığından, ilk kez bu çalışmada, öksürük ve hapşırma sesleri aynı sınıfta diğer seslere karşı sınıflandırılıyor. Böylece, önerilen öksürük ve hapşırma seslerini tespit eden sistem, havaalanlarında, otobüslerde, hastanelerin bekleme salonlarında, huzurevlerinde ve benzeri kalabalık ortamlarda kolaylıkla bir tarama yöntemi olarak kullanılabilir.

Çalışmanın devamı bu şekilde sıralandı; kullanılan malzemeler ve yöntemler ikinci bölümde, ve bulgular ve tartışma üçüncü bölümde sunuldu. Sonuç bölümlü ise, dördüncü bölümde getirildi.

2. Malzemeler ve Yöntemler

2.1. Veri Seti

"Solunum hastalığı ile ilişkili semptom seslerinin veri seti" adıyla sunulan açık erişimli veri seti [13], Center for Open Science (OSFHOME) tarafından Pfizer Digital Medicine Challenge için oluşturulmuştur. Center for Open Science (OSFHOME) bu veri seti üzerine araştırmacıları meydan okumaya davet ediyor. Farklı veri setlerinden toplanan bu veri seti, hasta ve hasta olmayan etiketlerle iki sınıfa ayrılmıştır. Hasta sınıfı daha çok hapşırma ve öksürme gibi solunum hastalığı ile ilişkili semptom seslerini içerirken, hasta olmayan sınıftaki sesler daha çok gülme, konuşma, şarkı söyleme gibi, insan kaynaklı, günümüzde etrafımızda duyduğumuz sesler içermektedir. Kayıtlar 4.98 saniye boyunca 44100 Hz örnekleme frekansıyla kaydedilmiştir. Sınıflardaki örnek dağılımı Tablo 1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, çalışmalar arasında adil bir karşılaştırma yapılabilmesi için veri seti eğitim, doğrulama ve test olarak üç parçaya bölünmüştür.

Tablo 1. Sınıflar arasında örnek dağılımı

	Hasta	Hasta olmayan	Toplam
Eğitim	1435	2283	3718
Doğrulama	468	753	1221
Test	642	1012	1654

2.2. Mel-frekans kepstral katsayıları (MFCC)

MFCC tekniği, insan kulağının frekans bandının değişimi ile uyumlu olduğu bilinmektedir [14], [15]. Ayrıca, MFCC ses tanıma sistemlerinde diğer tekniklere göre daha başarılı olduğu kanıtlanmıştır [16], [17]. MFCCs tekniği kuru ve ıslak öksürük ayırımında faydalı bir yöntem olduğu Chatzarrin ve ark. tarafından 2011 yılında gösterildi. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada [18] Covid-19 öksürük sesleri Covid-19 olmayan öksürük seslerinden ayırıt edilmesi için, MFCC yöntemiyle öznelikler elde edildi ve DVM sınıflandırıcısı ile sınıflandırıldı. MFCC'nin çalışma prensibi kısaca sinyal pencereleme, hızlı Fourier dönüşümü (DFT) uygulaması, katsayıların büyüklüğünün logaritmasının hesaplanması, frekansları bir mel ölçeğine çarpıtma ve ayırık kosinüs dönüşümü (DCT) uygulaması olarak özetlenebilir [19]. Mel spektrumu, bir dizi bant geçiren filtreden geçen Fourier dönüşümünden elde edilen sinyale dayalı olarak hesaplanır. Mel ölçeği ile frekans ölçeği arasındaki dönüşüm, aşağıda verilen denklem ile sağlanmaktadır.

$$mel(f) = 2595 \times \log\left(1 + \frac{f}{700}\right) \quad (1)$$

2.3. Sınıflandırıcılar

Sınıflandırma işleminde, bir sınıflandırıcı belirli etiketlere sahip örneklerle eğitilir ve bir model oluşturulur. Böylece, oluşturulan model, bilinmeyen örneklerin etiketini tahmin etmek için kullanılır [20]. Öksürük seslerinin sınıflandırılmasında Lojistik regresyon (LR), destek vektör makineleri (DVM), çok katmanlı algılayıcılar, evrişimli sinir ağları, uzun kısa süreli bellek (LSTM) ve artık tabanlı sinir ağı mimarisi [21], gibi makine ve derin öğrenme yöntemlerine dayalı birçok sınıflandırıcı kullanılmıştır. Bu çalışmada, AdaBoost-Ensemble, radyal tabanlı çekirdek fonksiyonlu DVM (RTF-DVM), Polinomial çekirdek fonksiyonlu DVM (Polinomial-DVM) ve Karar ağacı sınıflandırıcıları, öksürük ve hapsirme seslerini diğer seslerden ayırıt etmek için kullanıldı.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Makine öğrenimine dayalı, öksürme ve hapsirme gibi solunum hastalıklarının semptomlarının ses kayıtları diğer seslere

karşı sınıflandırılması, OSFHOM tarafından sunulan açık erişimli veri seti üzerine gerçekleştirildi. Öznelikler, MFCC yöntemi kullanılarak kayıtlı seslerden çıkarıldı ve dört farklı sınıflandırıcı ile sınıflandırıldı. Öznelik çıkarma ve sınıflandırma süreçlerinde farklı parametreler mevcuttur. Bu parametrelerin en uygun değerlerini seçmek için deneme yanılma yöntemi kullanıldı. Ancak, öznelik çıkarma aşamasında, MFCC katsayı sayısı ve sınıflandırma aşamasında, sınıflandırıcıya ayıt parametrenin belirlenmesi için doğrulama veri kümesi kullanıldı. Böylelikle, farklı parametrelerle elde edilen doğruluk oranları kıyaslanarak, bahsedilen parametreler için en uygun değerler seçildi.

Bir ses kaydı için MFCC hesaplandığında, $M \times N$ boyutunda bir matris elde edilir; burada M , MFCC katsayıları sayısı ve N , pencerelerin sayısıdır. Bu çalışmada, pencere türü Hamming ve pencere uzunlukları 1536 örnek örtüşmeyle 2048 örnek seçildi. Bu seçimler deneme ve yanılma metoduyla elde edildi. Ancak, En uygun katsayı sayısını belirlemek için 12, 13, 14, 24, 26, ve 28 sayıları arasında doğruluk oranı aracılığıyla, bir kıyaslama yapıldı. MFCC tekniğini kullanan çalışmaların birçoğunda katsayı genelde 13 olarak seçilmiştir, bunun için bu çalışmada bu sayının katsayıları ve komşuları kıyaslama aşaması için seçildi. MFCC katsayıları elde edildikten sonra, her katsayı dizini için ortalama, standart sapma ve ortalama karekök değerleri hesaplandı ve böylelikle öznelik vektörünün boyutu $M \times 3$ (örneğin 13 katsayısı için $13 \times 3 = 39$) oldu. Bu aşamada, sınıflandırıcı parametrelerinin değerleri sabit tutularak Tablo 2' de elde edilen sonuçlarla birlikte verilmiştir.

Tablo 2' de görüldüğü gibi, RTF-DVM sınıflandırıcısı 28 MFCC katsayısı kullanıldığında, en yüksek Doğruluk oranına (0.7703) ulaşmıştır. Bunun için çalışmanın devamında, bu sınıflandırıcının sigma parametresinin belirlenmesi için, 0.1-2 arasında 0.2 adımlarla tarama yapıldı. Sonuçlar Tablo 3' de verilmiştir. Doğruluk oranının yanında, her sigma için, sınıfların hassasiyeti ve özgüllüğü de hesaplandı. Tablo 3' de görüldüğü gibi, sigmanın değeri 1.3 olduğunda, daha yüksek doğruluk oranı elde edilmiştir. Sistemin hassasiyeti ve özgüllüğü de bu değerde diğer sigmalara göre yüksek görünmektedir.

Tablo 1. Farklı MFCC katsayıları için sınıflandırma sonuçları

MFCC katsayı sayısı	AdaBoost-Ensemble	RTF-DVM	Polinomial -DVM	Karar ağacı
	Maksimum Bölme Sayısı =20	Sigma =1	Sigma =1	Maksimum Bölme Sayısı =100
12	0.7358	0.7449	0.7096	0.6874
13	0.7490	0.7465	0.7326	0.6965
14	0.7514	0.7473	0.7096	0.7014
24	0.7588	0.7662	0.7170	0.6883
26	0.7514	0.7678	0.7252	0.6866
28	0.7531	0.7703	0.7309	0.6825

Böylelikle, önerilen sistemde, öznelik çıkarma aşamasında MFCC katsayısının sayısı ve sınıflandırıcının türü ve parametresi seçildikten sonra, önerilen sistemin performansı test kümesi üzerinde ölçüldü ve elde edilen sonuçlar Tablo 4’ de bir araya getirildi. Sistemin doğruluk oranı 0.76 civarında hesaplanırken, sistemin hassasiyeti ve özgüllüğü de sırasıyla, 0.82 ve 0.65 civarında elde edildi.

Tablo 3. RTF-DVM sınıflandırıcısında farklı sigma değerleri için sınıflandırma sonuçları

Sigma	Doğruluk Oranı	Hassasiyet	Özgüllük
0.1	0.7358	0.8896	0.4882
0.3	0.7465	0.8657	0.5546
0.5	0.7490	0.8670	0.5589
0.7	0.7547	0.8617	0.5824
0.9	0.7687	0.8630	0.6167
1.1	0.7703	0.8644	0.6188
1.3	0.7728	0.8577	0.6360
1.5	0.7728	0.8524	0.6445
1.7	0.7662	0.8537	0.6253
1.9	0.7711	0.8577	0.6317

Tablo 4. Önerilen sistemin test veri kümesi üzerindeki sonuçlar

	Doğruluk Oranı	Hassasiyet	Özgüllük
RTF-DVM	0.7581	0.8230	0.6458

Önerilen sistem bir uygulama olarak akıllı telefonlara kurulabilir veya daha öncede söylendiği gibi, kalabalık ortamlarda bir tarama aracı olarak kullanılabilir. Diğer taraftan, elde edilen sonuçların kıyaslanması için, literatüre bakıldığında bu veri seti üzerine herhangi bir çalışmaya rastlamamaktayız. Ancak elde edilen sonuçlar, sistemin özgüllüğünün 0.65 olmasına rağmen, benzer öksürük ses tanıma sistemlerinin sonuçlarına yakın görünmektedir.

4. Sonuç

Solum hastalıklarını teşhis etmek için, klinik testlerin yüksek maliyeti, uzun geri dönüş süresi ve dünya çapında eşit erişim eksikliği göz önüne alındığında, uygun maliyetli, hızlı, kolay ve doğru bir yöntemle sahip olmak esastır. Bu nedenle makine veya derin öğrenimine dayalı bir mobil uygulama veya hastaneler gibi kalabalık ortamlarda bu hastalıkların semptom seslerini taramak oldukça ilginç ve önemlidir. Bu çalışmada, OFSHOME tarafından sunulan veri seti üzerinde, öksürük ve hışırtı seslerinden MFCC yöntemi ile öznelikler elde edildi ve dört farklı sınıflandırıcı ile sınıflandırıldı. Bu veri seti üzerine daha önce herhangi bir çalışma yapılmadığından, bu çalışmanın bu alanda çalışanlar için ışık tutacağını inanıyoruz. Ayrıca, ilerideki çalışmalar için, farklı öznelik çıkarma teknikleri ve farklı sınıflandırıcılar kullanılarak elde edilen sonuçlarının iyileştirilmesi planlanmaktadır.

Kaynakça

[1] A. A. Saraiva et al., “Classification of respiratory sounds with convolutional neural network,” *Bioinforma.* 2020 - 11th Int. Conf. Bioinforma. Model. Methods Algorithms, Proceedings; Part 13th Int. Jt. Conf. Biomed. Eng. Syst.

Technol. BIOSTEC 2020, pp. 138–144, 2020, doi: 10.5220/0008965101380144.

- [2] D. Sánchez Morillo, S. Astorga Moreno, M. Á. Fernández Granero, and A. León Jiménez, “Computerized analysis of respiratory sounds during COPD exacerbations,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 43, no. 7, pp. 914–921, Aug. 2013, doi: 10.1016/J.COMPBIOMED.2013.03.011.
- [3] M. Melek, “Diagnosis of COVID-19 and non-COVID-19 patients by classifying only a single cough sound,” *Neural Comput. Appl.* 2021, pp. 1–12, Jul. 2021, doi: 10.1007/S00521-021-06346-3.
- [4] U. R. Abeyratne, V. Swarnkar, A. Setyati, and R. Triasih, “Cough Sound Analysis Can Rapidly Diagnose Childhood Pneumonia,” *Ann. Biomed. Eng.* 2013 4111, vol. 41, no. 11, pp. 2448–2462, Jun. 2013, doi: 10.1007/S10439-013-0836-0.
- [5] V. Swarnkar, U. R. Abeyratne, A. B. Chang, Y. A. Amrulloh, A. Setyati, and R. Triasih, “Automatic Identification of Wet and Dry Cough in Pediatric Patients with Respiratory Diseases,” *Ann. Biomed. Eng.* 2013 415, vol. 41, no. 5, pp. 1016–1028, Jan. 2013, doi: 10.1007/S10439-013-0741-6.
- [6] M. Al-khassawneh and R. B. Abdelrahman, “A signal processing approach for the diagnosis of asthma from cough sounds,” <http://dx.doi.org/10.3109/03091902.2012.758322>, vol. 37, no. 3, pp. 165–171, Apr. 2013, doi: 10.3109/03091902.2012.758322.
- [7] H. Chatzarrin, A. Arcelus, R. Goubran, and F. Knoefel, “Feature extraction for the differentiation of dry and wet cough sounds,” in *MeMeA 2011 - 2011 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications, Proceedings*, 2011, pp. 162–166, doi: 10.1109/MeMeA.2011.5966670.
- [8] E. Nemati, M. M. Rahman, V. Nathan, K. Vatanparvar, and J. Kuang, “A Comprehensive Approach for Classification of the Cough Type,” in *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, Jul. 2020, vol. 2020-July, pp. 208–212, doi: 10.1109/EMBC44109.2020.9175345.
- [9] V. Bhateja, A. Taqee, and D. K. Sharma, “Pre-Processing and Classification of Cough Sounds in Noisy Environment using SVM,” in *2019 4th International Conference on Information Systems and Computer Networks, ISCON 2019*, Nov. 2019, pp. 822–826, doi: 10.1109/ISCON47742.2019.9036277.
- [10] N. Simou, N. Stefanakis, and P. Zervas, “A universal system for cough detection in domestic acoustic environments,” in *European Signal Processing Conference*, Jan. 2021, vol. 2021-January, pp. 111–115, doi: 10.23919/Eusipco47968.2020.9287659.
- [11] F. Barata, K. Kipfer, M. Weber, P. Tinschert, E. Fleisch, and T. Kowatsch, “Towards device-agnostic mobile cough detection with convolutional neural networks,” in *2019 IEEE International Conference on Healthcare Informatics, ICHI 2019*, Jun. 2019, doi: 10.1109/ICHI.2019.8904554.
- [12] “Center for Open Science.” https://www.cos.io/?_ga=2.107126978.1325905396.1631883086-1696097544.1629751041 (accessed Sep. 17, 2021).

- [13] “OSF | Dataset of sounds of symptoms associated with respiratory sickness Wiki.” <https://osf.io/tmkud/wiki/home/> (accessed Sep. 17, 2021).
- [14] R. Gonzalez, “Better Than MFCC Audio Classification Features,” *Era Interact. Media*, vol. 9781461435013, pp. 291–301, Oct. 2013, doi: 10.1007/978-1-4614-3501-3_24.
- [15] M. A. Hossan, S. Memon, and M. A. Gregory, “A novel approach for MFCC feature extraction,” 4th Int. Conf. Signal Process. Commun. Syst. ICSPCS’2010 - Proc., 2010, doi: 10.1109/ICSPCS.2010.5709752.
- [16] Y. Wang and B. Lawlor, “Speaker recognition based on MFCC and BP neural networks,” 2017 28th Irish Signals Syst. Conf. ISSC 2017, Jul. 2017, doi: 10.1109/ISSC.2017.7983644.
- [17] A. Winursito, R. Hidayat, and A. Bejo, “Improvement of MFCC feature extraction accuracy using PCA in Indonesian speech recognition,” 2018 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2018, vol. 2018-January, pp. 379–383, Apr. 2018, doi: 10.1109/ICOIACT.2018.8350748.
- [18] N. Melek Manshouri, “Identifying COVID-19 by using spectral analysis of cough recordings: a distinctive classification study,” *Cogn. Neurodynamics* 2021, pp. 1–15, Jul. 2021, doi: 10.1007/S11571-021-09695-W.
- [19] K. S. (Krothapalli S. Rao and Manjunath K. E.), “Speech recognition using articulatory and excitation source features,” p. 92.
- [20] M. Melek, N. Manshouri, and T. Kayikcioglu, “Low-Cost Brain-Computer Interface Using the Emotiv Epoc Headset Based on Rotating Vanes,” *Trait. du Signal*, vol. 37, no. 5, pp. 831–837, Nov. 2020, doi: 10.18280/ts.370516.
- [21] U. Ozkaya, F. Melgani, M. B. Bejiga, L. Seyfi, and M. Donelli, “GPR B scan image analysis with deep learning methods,” *Measurement* 2020, 165, 107770. doi: 10.1016/j.measurement.2020.107770.



Kademeli Lif Takviyeli Kompozit Beton Kirişlerin Eğilme Davranışı

Abdullah Müsevitoğlu^{1*}, Atilla Özütok², Serkan Salkım³, Oğuzhan Çağlar⁴, Gökalp Kırca⁵, Kadirhan Ertürk⁶, Mesut Acar⁷

^{1*} KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0293-3424), abdullah.musevitoglu@karatay.edu.tr

² KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9000-283X), atilla.ozutok@karatay.edu.tr

³ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0930-687X), salkimserkann@gmail.com

⁴ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4486-5076), caglarr.oguzhan@gmail.com

⁵ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5475-4815), krcgokalp@gmail.com

⁶ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9637-1302), erturkkdrhn@gmail.com

⁷ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7224-3595), thmesutacar1@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999026)

ATIF/REFERENCE: Müsevitoğlu, A., Özütok, A., Salkım, S., Çağlar, O., Kırca, G., Ertürk, K., & Acar, M. (2021). Lif takviyeli-normal beton kompozit kirişlerin eğilme davranışı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 338-345.

Öz

Bu çalışmada kademeli lif takviyeli kompozit kirişlerin eğilme dayanımları araştırılmıştır. Beton hacmine oranla %2 oranında lif (çelik ve makro sentetik polipropilen lif/MS) takviyeli karışımlar hazırlanmıştır. Katmanın konumuna (alt, üst ve tamamı) göre farklı özelliklerde hazırlanan 7 adet yarım ölçekli kiriş üzerinde 4 noktalı eğilme testi yapılmıştır. Deneyler sonrası numunelerde yük-deplasman davranışı, enerji yutma kapasitesi, çatlak ilerleyişi ve göçme durumları incelenmiştir. Yük taşıma kapasitelerinde referans kirişlere kıyasla, tamamı MS lif takviyeli olan kirişlerde %30, çelik lif takviyeli betonun alt katmanda olduğu kirişlerde %27 artış görülmüştür. MS lif takviyeli kirişlerde yük taşıma kapasiteleri maksimuma ulaştıktan sonra yük altında deplasman yapabilme kabiliyeti çelik lif içeren kirişlere göre daha fazla çıkmaktadır. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde lif takviyeli betonun (FRC) alt katmanda olduğu kirişlerin, üst katmanda bulunan kirişlere oranla daha sünek davranış gözlenmiştir. FRC tabakasının kirişin üst kısmında olduğu durumlarda maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra normal beton (NC) tabakasında erken göçme gözlemlendiğinden ani yük kayıpları gözlenmiştir. Çalışma sonucunda fiber miktarının azaltılmasının fiber kullanımının yaygın olduğu yapıların maliyetlerine olumlu yönde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fiber takviyeli beton, Makro sentetik polipropilen fiber, çelik fiber, eğilme dayanımı, Kompozit.

Flexural Behavior of Graded Fiber Reinforced Composite Concrete Beams

Abstract

In this study, the flexural strengths of graded fiber-reinforced composite beams were investigated. Mixtures reinforced with fiber (steel and macro-synthetic polypropylene fiber/MS) at a ratio of 2% to the concrete volume were prepared. A 4-point bending test was performed on 7 half-scale beams prepared according to the position of the layer (bottom, top and whole). After the tests, load-displacement behavior, energy absorption capacity, crack propagation, and failure mechanism of the specimens were investigated. Compared to the reference beams, the load-carrying capacities increased by 30% in beams with full MS fiber reinforcement and by 27% in beams with steel fiber reinforced concrete in the substrate. After the load-carrying capacity of MS fiber-reinforced beams reaches the maximum, the ability to make displacement under load is higher than the beams containing steel fiber. When the energy absorption capacities are examined, it can be said that the beams with fiber reinforced concrete (FRC) in the bottom layer behave more ductility than the beams in the upper layer. In cases where the FRC layer is at the top of the beam, sudden load losses are observed as early failure is observed in the normal concrete (NC) layer after the maximum load-carrying capacity is reached. As a result of the study, it is thought that reducing the amount of fiber will contribute positively to the costs of structures where fiber use is common.

Keywords: Fiber reinforced concrete, Macro synthetic polypropylene fiber, Steel fiber, Flexural behavior, Composite.

* Sorumlu Yazar: abdullah.musevitoglu@karatay.edu.tr

1. Giriş

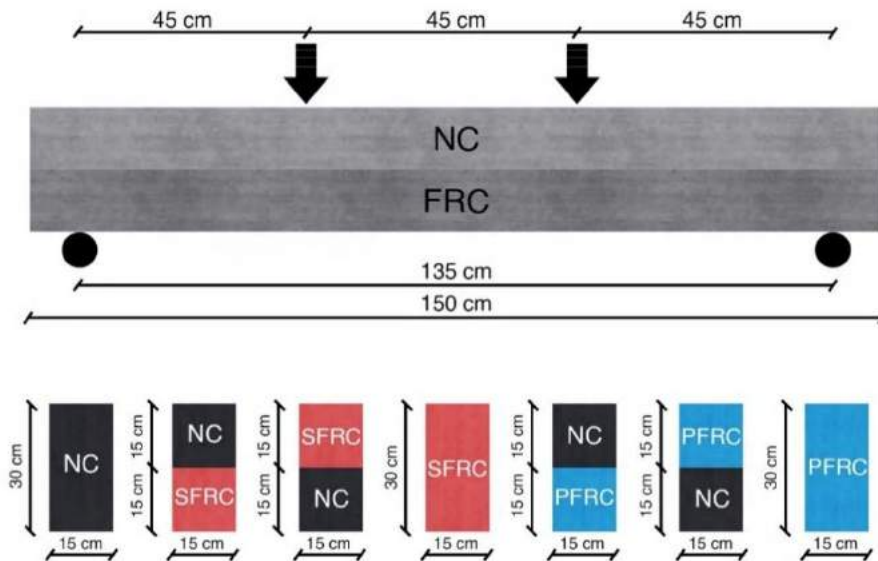
Beton düşük çekme mukavemetine sahip gevrek bir malzemedir. Bu özellikler betona lif ilave edilmesi ile iyileştirilebilmektedir. Lif takviyeli beton (FRC), çimento esaslı bir matrise ve süreksiz bir donatı olan fibere sahip kompozit bir malzemedir (Mudadu et al., 2018). FRC, tünel işlerinde, demiryollarında, barajlarda ve prekast elemanlar gibi yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam, çelik, polipropilen ve karbon lifleri, kullanım amaçlarına göre belirlenen oranlarda karıştırılarak betona uygulanır ve böylece beton karışımına farklı özellikler kazandırılmaktadır (Hsie et al., 2008; Yao et al., 2003). Betona lif eklenmesi, çatlak direncini, sünekliği, enerji yutma kapasitesini ve mukavemetini geliştirmektedir (Yin et al., 2015). Beton karışımındaki lifler, doğru oranlarda kullanıldığında ve dağıtıldığında betonun dayanıklılığını arttırmakta ve çatlakların ilerleyişini yavaşlatmaktadır (Pujadas et al., 2017). Bu makale kapsamında lif olarak makro sentetik polipropilen (MS) ve çelik lifler incelenmiştir. Birçok çalışma FRC'nin mekanik ve fiziksel özelliklerine odaklanmıştır. Betonda MS liflerinin kullanımının, kirişlerde yük taşıma kapasitesini ve kırılma enerjisini arttırdığı (Buratti et al., 2011; Chiranjeevi Reddy & Subramaniam, 2017; Oh et al., 2007), sünekliğini, kesme mukavemetini ve kırılmaya karşı direnci iyileştirdiği (Altoubat et al., 2009; Hasan et al., 2011) görülmüştür. Geri dönüştürülmüş agrega ile üretilmiş beton karışımlarına MS liflerin eklenmesi betonun kırılma enerjisini ve tokluğunu önemli ölçüde artırmıştır; aynı zamanda eğilme mukavemetini, sünekliğini, enerji yutma kapasitesini (Kazmi et al., 2018) ve gerilme-şekil değiştirme davranışını (Kazmi et al., 2019) geliştirmiştir. Ayrıca MS lif takviyesi betonun birim hacim ağırlığını önemli ölçüde değiştirmemiş, karbonatlaşma derinliğini arttırmamış ve su emme miktarını azaltmamıştır (Bolat et al., 2014). Betona çelik lif eklenmesi, sünekliğini, eğilme mukavemetini, sertlik gibi betonun mekanik özelliklerini geliştirmektedir (Abbass et al., 2018; Biolzi & Cattaneo, 2017; Ding et al., 2019; Hu & Wu, 2018). Ek olarak çelik lif ilavesi nihai çatlak genişliğini attırmaktadır (Mudadu et al., 2018). Yüksek mukavemetli betonlarda çelik lif uygulaması kırılma enerjisini (Kazemi et al., 2017), basınç dayanımını, yarmada çekme mukavemetini ve tokluğunu artırmıştır (Song & Hwang, 2004).

Çelik lif ilavesi ultra yüksek performanslı betonlarda basınç dayanımını ve yarmada çekme dayanımı özelliklerini arttırmaktadır (Smarzewski & Barnat-Hunek, 2018). Kendiliğinden yerleşen betonlarda çelik lif kullanılması çekme mukavemetini iyileştirerek sünekliği arttırmaktadır (de Alencar Monteiro et al., 2018; Sucharda et al., 2017). Geri dönüştürülebilir agregalı betonlarda çelik lif ilavesi, kesme davranışını (Chaboki et al., 2019), yük taşıma kapasitesini, çekme mukavemetini iyileştirirken çatlamayı azaltmaktadır (Chaboki et al., 2018).

Betona fiber ilavesi betonun maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu sorun fiberin beton içerisinde kullanılması ile ilgili yapılan uygulamaları kısıtlamaktadır. Kirişlerde fiber miktarının azaltılması, inşaat maliyetlerini azaltırken aynı zamanda kirişlerin normal betona göre daha iyi eğilme davranışı sergilemesini sağlayacaktır. Hem normal beton (NC) hem de FRC'nin içeren kompozit kirişler ile ilgili raporlar mevcuttur (Hussein & Amleh, 2015; Martinola et al., 2010; Nguyen et al., 2021; Tong et al., 2021). FRC kirişlerin sahip olduğu özelliklerin birçoğu bilinmesine rağmen kompozit kirişlerin davranışları hakkında yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada fiber kullanımını azaltarak hem ekonomik hem de yeterli eğilme dayanımına sahip kiriş üretilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada FRC-NC kompozit kirişlerinin eğilme etkisi altında davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda bir tanesi referans olmak üzere 7 adet farklı özelliklere sahip yarım ölçekli kiriş monotonik artan yüklemeye altında 4 noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur.

2. Materyal ve Metot

7 adet farklı özelliklere sahip kiriş eğilme davranışlarını incelemek için KTO Karatay Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında üretilmiştir. Test kirişleri, FRC'nin konumuna ve fiberin türüne göre hazırlanmıştır. Kirişler 1500 mm uzunluğunda, 150 mm x 300 mm kesitinde hazırlanmıştır. Kirişlerin özellikleri ve detayları Şekil 1'de verilmiştir. Beton karışımları, betonda kullanılan lif tipine göre çelik lif ise SFRC, MS lif ise PFRC ve lif içermeyen kiriş ise NC olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 1. Kiriş özellikleri ve detayları

2.1. Malzeme Özellikleri

Beton karışımında bağlayıcı olarak BS EN 197-1 (BS EN 197-1, 2011) standartına uygun, özgül ağırlığı $3,15 \text{ g/cm}^3$, özgül yüzey alanı (Blaine) $3500\text{-}3700 \text{ cm}^2/\text{gr}$ olan portland çimentosu (CEM II 42,5R) ve maksimum çapı $22,4 \text{ mm}$ olan agregaya kullanılmıştır. Betonların işlenebilirliğini arttırmak amacıyla bağlayıcı miktarının %0,5'i oranında super akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Farklı özelliklere sahip iki tip fiber (MS ve çelik) beton karışımında kullanılmıştır (Şekil 2). Çalışmada kullanılan fiberler ASTM C 1116 (ASTM C 1116, 2015) standartına göre üretilmiş ve Tablo 1'de özellikleri verilmiştir. Çalışmada C30 beton üretilmesi amaçlanmıştır. Tüm beton

karışımlarında kullanılan malzemelerin detayları Tablo 2'de verilmiştir.



a) Makro sentetik polipropilen lif



b) Çelik lif

Şekil 2. DeneySEL çalışmada kullanılan lifler

Tablo 1. Makro sentetik polipropilen lif ve çelik lifin özellikleri

Fiber Tipi	Uzunluk l (mm)	Çap d (mm)	En/boy oranı (l/d)	Yoğunluk (kg/m ³)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
MS	54	0.65	83	0.91	550-750
Çelik	35	0.70	50	7.85	1400

Tablo 2. Beton karışımında kullanılan malzeme detayları

Karışım	NC	PFRC	SFRC
Çimento (kg/m ³)	350.0	350.0	350.0
Kum (kg/m ³)	900.0	900.0	900.0
Agrega (kg/m ³)	900.0	900.0	900.0
MS Lif (%)	-	2.0	-
Çelik lif (%)	-	-	2.0
Akışkanlaştırıcı (%)	0.5	0.5	0.5
Su (kg/m ³)	189.1	189.1	189.1
S/Ç	0.54	0.54	0.54

2.2. Betonun mekanik özellikleri

NC, PFRC ve SFRC betonun basınç dayanımları, $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ boyutlarında küp numunelerin basınç testiyle elde edilmiştir. Çekme dayanımları ise $150 \times 300 \text{ mm}$ boyutlarında silindir numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme dayanım testi ile elde edilmiştir. Küp ve silindir numuneler, test kırımları ile aynı gün en az 6 adet olmak üzere dökülmüştür. Dökümden sonra küp ve silindir NC, PFRC ve SFRC numuneleri 28 gün boyunca suda kürlenmiştir. Tablo 3'te tüm numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç ve yarmada çekme dayanımları verilmiştir.

Tablo 3. Beton basınç ve yarmada çekme dayanımları

Fiber Tipi	Numune gösterimi	Basınç Dayanımı (MPa)		Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	
		7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
NC		32.05	35.78	2.05	2.49
SFRC		33.68	34.72	3.44	3.93
PFRC		33.36	34.51	2.99	3.88

Tablo 3'te görüldüğü üzere beton hacminin %2'si oranında çelik ve MS lif katkısının betonun basınç dayanımına etkisi sınırlı kalmaktadır. Tüm FRC numuneleri düz beton numunelerine kıyasla eksenel yükleme altında daha sünek bir kırılma modu sergilemiştir. FRC küp numuneleri tamamen ezilmemiştir ve bütünlüğünü korumuştur. Yarmada çekme dayanımlarında NC betona göre sırasıyla çelik lif katkılı betonlarda %58, MS lif katkılı betonlarda %56 oranında artış görülmüştür. Yarmada çekme dayanımları $2P/\pi DL$ denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Burada P kırılma yükünü, D çapı, L ise uzunluğu temsil etmektedir. Normal beton numunelerinde tek bir dikey çatlak oluşumu gözlenirken, FRC numunelerinde ise göçme düzlemi boyunca oluşan gerilmeler nedeniyle daha sünek kırılma görülmüştür.

2.3. Test numunelerinin hazırlanması

Teste tabi tutulacak kırımların dökümleri için ahşap kalıplar kullanılmıştır. Kalıptan ayrılmanın kolay olması için kalıp iç yüzeyleri yağlanmıştır. Beton karışımındaki malzemelerin karışımı için 60 litrelik hacme sahip laboratuvar mikseri kullanılmıştır. NC, PFRC ve SFRC betonların hazırlanması için aynı prosedür uygulanmıştır. İlk olarak yaklaşık 10 dakika çimento, ince agregaya ve iri agregaya içeren kuru bir karışım hazırlanmıştır. Sonrasında, karışıma su ilave edildi ve 10 dakika süre karıştırıldı, Daha sonra karışıma süper akışkanlaştırıcı ilave edilerek 5 dakika daha karıştırıldı. Son olarak lif içeren betonlar için lifler mikser içerisine dikkatli bir şekilde atılarak 5 dakika

daha karıştırıldı. Ardından elde edilen karışım kalıplara yerleştirildi. İki kademededen oluşan kompozit kirişler kalıplara yerleştirilirken, alt kademenin yerleştirilme ve sıkıştırma aşamasından sonra 1 saat süreyle beklendikten sonra dikkatli bir şekilde üst tabakadaki beton yerleştirilip sıkıştırma işlemi

tamamlanmıştır. Kiriş numuneleri 7 gün boyunca su kürüne tabi tutulmuştur. Laboatuvarında yapılan test numunelerinin hazırlanış aşamaları Şekil 3'te verilmiştir.

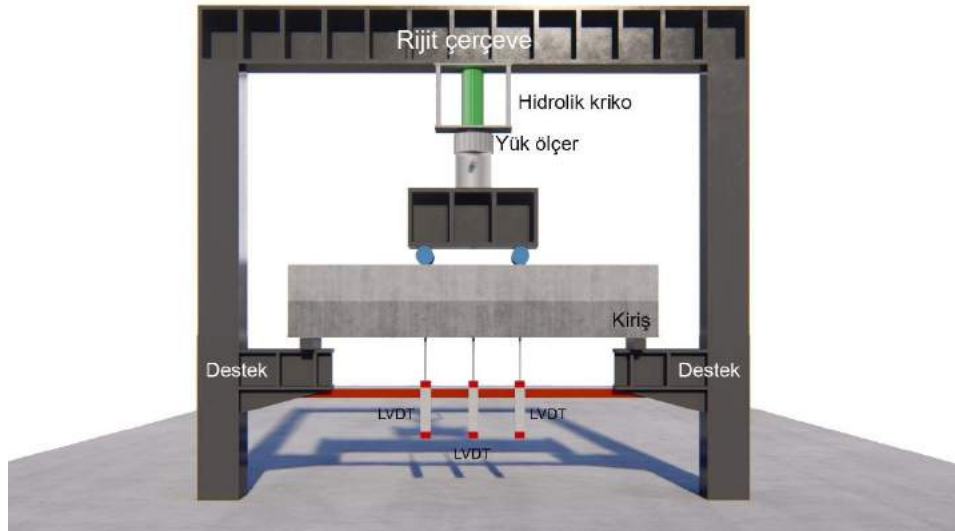


Şekil 3. Deney numunelerinin test için hazırlanması

2.4. Deney düzeneği ve prosedürü

Test kirişleri ilk 7 gün kürlenmiş ve 28 gün boyunca oda koşullarında tutulmuştur. Test kirişleri monotonik olarak artan bir yükleme ile 4 noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Şekil 4'te bu çalışmada kullanılan deney düzeneği verilmiştir. Yük altında oluşan deplasmanların ölçülmesi amacıyla 3 adet lineer potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir. Yükleme 300 kN

kapasiteli hidrolik kriko yardımıyla yapılmıştır. Destekler arası net mesafe 135 cm ve yükleme noktaları arası mesafe 45 cm'dir. Deney esnasında oluşan yük ve deplasman değerleri 600 kN kapasiteli yük ölçer tarafından ölçülmüştür. Test numuneleri, yük taşıma kapasitelerinde önemli bir azalış görülene kadar yüklenmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneği

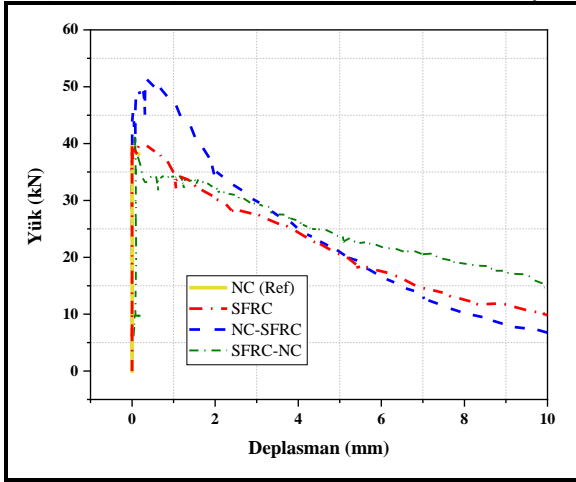
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Lifli betonun konumuna ve lif tiplerine göre farklı özelliklerde hazırlanan 7 adet kiriş monotonik artan yüklemeye altında test edilmiştir. Deneyler sonrası ana araştırılan parametreler, yük yer değiştirme davranışı, enerji yutma kapasitesi, çatlak ilerleyişi, göçme mekanizmasıdır.

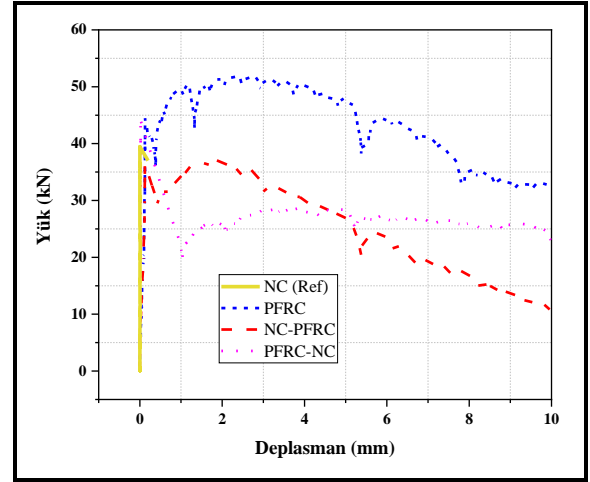
3.1. Yük-deplasman davranışı

Test numunelerinin yük altında yapmış olduğu deplasmanlar Şekil 5’ de verilmiştir. NC kirişi maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra ani kırılma gerçekleşmiştir. Şekil 5a incelendiğinde çelik lif katkısının yük taşıma kapasitesini bir miktar arttırdığı görülmüştür. Çelik lif katkılı betonun kirişin alt kısmında bulunması yük taşıma kapasitesini ve yük altında deplasman yapabilme kabiliyetini olumlu olarak etkilemiştir. SFRC-NC kirişinde yük taşıma kapasitesi maksimuma ulaştıktan sonra ani olarak %15’lik bir düşüş yaptıktan sonra kiriş yük taşımaya devam etmiştir. Bu da alt kısmında bulunan NC’nin tamamen işlevini kaybettiğini, sadece çelik lif içeren beton katmanının yük taşımaya devam ettiğini göstermektedir. SFRC ve SFRC-NC kirişlerinde ise bu durum gözükmemektedir. Şekil 5b incelendiğinde PFRC kirişinde maksimum yük taşıma kapasitesinin %30 oranında arttığı görülmektedir. PFRC-NC ve NC-PFRC kirişlerinde ise yük taşıma kapasitesinde herhangi bir artış görülmemiştir. MS lif içeren her 3 kirişte, belli bir miktar yük

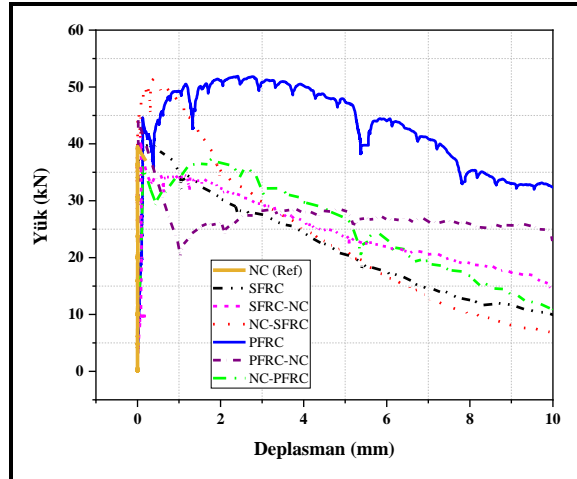
altında deplasman yapmaya devam etmektedir. Fakat PFRC-NC kirişinde yani PFRC tabakasının üst kısımda olduğu durumda kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra ani bir kırılma davranışı göstererek yük taşıma kapasitesinin %50’sini kaybetmiştir. Bu yük altında deplasman yapmaya devam etmiştir. NC-PFRC kirişi incelendiğinde ise maksimum yük altında belli bir miktar daha deplasman yaptıktan sonra lineer olarak yükte azalma görülmüştür. Hem çelik lif katkılı hem de MS lif katkılı kirişler incelendiğinde lifli beton tabakalarının üst kısımda olduğu durumlarda NC betonunun yetersizliğinden dolayı maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra ani bir göçme oluşturmakta, dayanımının belli bir miktarını kaybederek sadece PFRC tabakası yük taşımaya devam etmektedir. Yük taşıma kapasitesi maksimuma ulaştıktan sonra PFRC içeren kirişlerde yük kaybı SFRC içeren kirişlere göre daha az olmaktadır. SFRC içeren kirişlerde yük taşıma kapasitesi maksimuma ulaştıktan sonra ani yük kayıpları görülmüştür. Bu durum MS lif katkılı kirişlerinin çelik lif katkılı kirişlere göre daha sünek davranış sergilediğini göstermektedir. Sonuç olarak yük-yer değiştirme grafikleri incelendiğinde lif katkılı olmayan NC kirişinde ani bir kırılma gerçekleşirken, lif katkılı olan kirişlerde daha sünek davranış gerçekleşmiştir. Eğilme açısından lif katkısının kirişin çekme bölgesinde yer almasının uygun olacağı bilinmektedir. NC-SFRC ve NC-PFRC kirişlerinde de görüldüğü gibi lifli tabakanın alt kısımda olması, üst kısımda olması durumuna göre daha iyi eğilme davranışı sergilemiştir.



a) Çelik lif takviyeli kirişlerin yük-deplasman davranışı



b) MS lif takviyeli kirişlerin yük-deplasman davranışı



c) Tüm numunelerin yük-deplasman davranışı

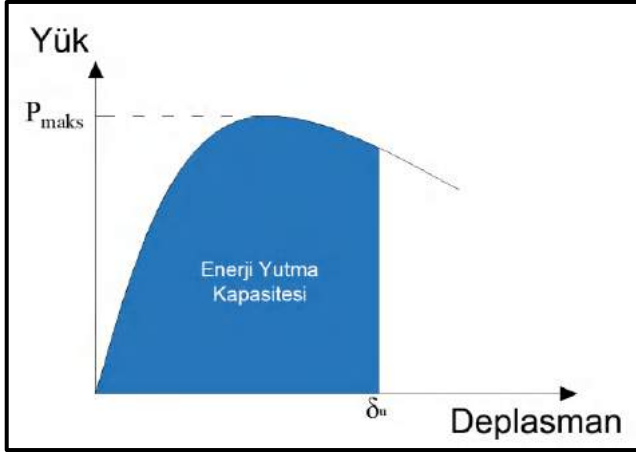
Şekil 5. Test numunelerinin yük-deplasman davranışı

3.2. Enerji yutma kapasitesi-süneklik

Süneklik, kırışlerde oluşan deplasmanlardan ve enerji yutma kapasitesinden hesaplanmaktadır (Issa et al., 2011). Enerji yutma kapasitesi, yük-deplasman eğrisinde kırış üzerindeki maksimum yükün %85'ine karşılık gelen sehım değerinin (δ_u) sol kısmında kalan alan denklem 1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Şekil 6).

$$\int_0^P Pd\delta \quad [1]$$

Denklem 1 ve şekil 5'te belirtilen parametreler: δ_u deplasman değerleri, P and P_{max} yük taşıma kapasitesidir.



Şekil 6. Enerji yutma kapasitesi

Tablo 4. Test numuneleri enerji yutma kapasiteleri

Test numuneleri	Enerji Yutma Kapasitesi (j)
NC	-
NC-SFRC	63,94
SFRC-NC	15,03
SFRC	48,61
NC-SFRC	132,04
PFRC-NC	13,58
PFRC	255,1

Tablo 4' de kırışlerin enerji yutma kapasiteleri verilmiştir. NC kırış maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığında göçme

gözlendiği için dikkate alınmamıştır. Enerji yutma kapasitesinde SFRC tabakasının altta bulunduğu NC-SFRC kırışi SFRC tabakasının üstte bulunduğu kırışe kıyasla oldukça önemli bir artış görülmüştür. SFRC numunesinde ise daha erken göçme durumunun gözlenmesi fiberlerin homojen olarak karışmadığından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. PFRC-NC kırışi maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığında altta bulunan NC tabakasının yetersizliğinden dolayı gerçekleşen ani yük kaybı sebebiyle enerji yutma kapasitesi NC-PFRC ve PFRC kırışlerine göre çok oldukça düşük çıkmıştır. PFRC, SFRC, NC-SFRC, NC-PFRC kırışleri incelendiğinde PFRC içeren kırışler SFRC içeren kırışlere kıyasla daha yüksek enerji yutma kapasitesine ulaşmıştır. PFRC tabakası içeren kırışlerin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra yük kaybı olmadan deplasman yapma kabiliyetin daha yüksek olduğu görülmüştür. Aksine SFRC tabakası içeren kırışlerde maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra yükün lineer olarak azaldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak kırışlerde %2 oranında MS lif ilavesinin, çelik lif ilavesine göre daha sünek davranış sağladığı söylenebilir.

3.3. Çatlak ilerleyişi ve göçme mekanizması

Çalışmanın bu bölümünde liflerin ve lifli betonun bulunduğu katmanın konumunun kırışlerin davranışları üzerindeki etkisi analiz edildi ve referans numuneye karşılaştırıldı. Kırışte makro çatlak oluşumunun mikro çatlak oluşumundan kaynaklandığı bilinmektedir. Lifler, mikro çatlakların oluşumunu geciktirerek kırılmanın gelişmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu amaçla yapılan hasar analizinde çatlak oluşumları detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 7'de tüm numunelerde oluşan çatlakların yüklere göre ilerleyişini ve göçme anındaki durumunu göstermektedir. Kırışte yükleme monotonik olarak artarak yapılmıştır. Ek olarak farklı renkler kullanılarak çatlakların ilerleyişi tespit edilmiştir. NC kırışinde de beklendiği gibi çatlak oluştuğu anda ani bir göçme gözlenmiştir. NC-SFRC kırışinde 40 kN yüke ulaşıldığında ilk eğilme çatlağı görülmüştür. Çatlak 50 kN yüke kadar ilerlemeye devam etmiştir. NC- PFRC kırışinde Üstte bulunan NC tabakasına eriştikten sonra çatlak yön değiştirerek ilerlemiştir. SFRC-NC ve PFRC-NC numunelerinde ise alt kısımda bulunan NC tabakasından dolayı ilk çatlak oluşumu ani ve çatlak boyu daha uzun olarak gerçekleşmiştir. Bu iki numunede de 35-40 kN yük altında ilk eğilme çatlağı oluşmaya başlamış ve çatlak üst FRC katmanına kadar ilerlemiştir. Her iki numunede de kırış maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra ani yük kayıpları görülmüştür. PFRC ve SFRC kırışlerinde yaklaşık olarak 35-40 kN yük altında ilk eğilme çatlakları oluşmuştur. PFRC içeren tüm kırışlerde çatlaklar SFRC içeren kırışlere göre daha yüksek yük taşıma kapasitelerinde oluştuğu görülmüştür. Kompozit kırışlerde herhangi bir ayrılma görülmemiştir. Bunun sebebi iki betonunun dökümü arasında kısa süre olması ve liflerin iki beton arasında ankraj görevi görmesi söylenebilir.



Şekil 7. Kiriş çatlak davranışı

4. Sonuç

Bu çalışmanın temel amacı FRC kirişlerde fiber kullanımını azaltarak, yapı maliyetlerini düşürmek aynı zamanda fiber katkısız kirişe göre daha sünek bir kiriş üretilmesidir. Bu amaçla 2 farklı fiber tipinde (MS ve çelik) ve farklı fiber beton konumlarına göre (üst ve alt) 7 farklı beton kiriş üretilmiştir. Kirişlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla küp ve silindir numunelerde basınç ve yarmada çekme dayanımı testleri yapıldı. Eğilme dayanımını görmek amacıyla kirişler üzerinde 4 noktalı eğilme testleri yapılmıştır. Çalışmada yapılan deneyler ve analizler sonrası aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

- PFRC kişinde NC kirişe oranla yük taşıma kapasitesinde %30 artış görülmüştür. Benzer şekilde NC-SFRC kirişinde de NC kirişe kıyasla yük taşıma kapasitesine %27 artış görülmüştür. Diğer tüm kirişlerde ise NC kirişe kıyasla yük taşıma kapasitelerinde artış görülmemiştir. FRC katmanının üst kısımda olması durumunda, alt kısımda bulunan NC katmanının erken göçmesi sebebiyle tam performansla ulaşılmadan kırılma gerçekleşmiştir.
- Yük-deplasman davranışları incelendiğine PFRC içeren kirişlerde yük taşıma kapasiteleri maksimuma ulaştıktan sonra yük altında deplasman yapabilme kabiliyeti SFRC içeren kirişlere göre daha fazladır. SFRC içeren kirişlerde maksimum yüke ulaşıldıktan sonra yükün azalan eğilimde olduğu görülmüştür.
- Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde NC-SFRC ve NC-PFRC kirişleri SFRC-NC ve PFRC-NC kirişlerine oranla daha akma sonrası daha sünek davranış yaptığı söylenebilir. NC kirişinde de bilindiği üzere gevrek bir kırılma gerçekleşmiştir.
- Lifli betonun üst kısımda bulunduğu SFRC-NC ve PFRC-NC kirişlerinde maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra ani yük kayıpları görülmüştür. Fakat bu ani yük kaybından sonra kiriş

yük altında deplasman yapmaya devam etmektedir. Bu duruma alt kısımda bulunan NC katmanının göçmesinden sonra üst kısımda bulunan FRC katmanının yük taşımaya devam etmesi sebep olmaktadır.

- Sonuç olarak betona MS ve çelik fiber ilavesinin yük taşıma kapasitesini ve sünekliğini arttırdığı ve çatlak oluşumu geciktirdiği görülmüştür. FRC betonun alt katmanda kullanılmasının kirişte eğilme dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Fiber miktarının azaltılmasının fiber kullanımının yaygın olduğu yapı maliyetlerine olumlu yönde katkı sağlanılacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Abbass, W., Khan, M. I., & Mourad, S. (2018). Evaluation of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete with different strengths of concrete. *Construction and Building Materials*, 168, 556–569. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.164>
- Altoubat, S., Yazdanbakhsh, A., & Rieder, K. A. (2009). Shear behavior of macro-synthetic fiber-reinforced concrete beams without stirrups. *ACI Materials Journal*, 106(4), 381–389. <https://doi.org/10.14359/56659>
- ASTM C 1116. (2015). *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete*.
- Biolzi, L., & Cattaneo, S. (2017). Response of steel fiber reinforced high strength concrete beams: Experiments and code predictions. *Cement and Concrete Composites*, 77, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.12.002>
- Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., Durmuş, G., & Can, Ö. (2014). The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete. *Composites Part B: Engineering*, 61, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.01.043>
- BS EN 197-1. (2011). *Cement Composition, specifications and conformity criteria for common cements*.
- Buratti, N., Mazzotti, C., & Savoia, M. (2011). Post-cracking behaviour of steel and macro-synthetic fibre-reinforced

- concretes. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2713–2722. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.022>
- Chaboki, H. R., Ghalehnovi, M., Karimipour, A., & de Brito, J. (2018). Experimental study on the flexural behaviour and ductility ratio of steel fibres coarse recycled aggregate concrete beams. *Construction and Building Materials*, 186, 400–422. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.132>
- Chaboki, H. R., Ghalehnovi, M., Karimipour, A., de Brito, J., & Khatibinia, M. (2019). Shear behaviour of concrete beams with recycled aggregate and steel fibres. *Construction and Building Materials*, 204, 809–827. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.130>
- Chiranjeevi Reddy, K., & Subramaniam, K. V. L. (2017). Analysis for multi-linear stress-crack opening cohesive relationship: Application to macro-synthetic fiber reinforced concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 169, 128–145. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2016.11.015>
- de Alencar Monteiro, V. M., Lima, L. R., & de Andrade Silva, F. (2018). On the mechanical behavior of polypropylene, steel and hybrid fiber reinforced self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 188, 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.103>
- Ding, Y., Liu, G., Hussain, A., Pacheco-Torgal, F., & Zhang, Y. (2019). Effect of steel fiber and carbon black on the self-sensing ability of concrete cracks under bending. *Construction and Building Materials*, 207, 630–639. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.160>
- Hasan, M. J., Afroz, M., & Mahmud, H. M. I. (2011). An Experimental Investigation on Mechanical Behavior of Macro Synthetic Fiber Reinforced Concrete. *Environmental Engineering*, 11(03), 18–23.
- Hsieh, M., Tu, C., & Song, P. S. (2008). Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. *Materials Science and Engineering A*, 494(1–2), 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.05.037>
- Hu, B., & Wu, Y. F. (2018). Effect of shear span-to-depth ratio on shear strength components of RC beams. *Engineering Structures*, 168(May), 770–783. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.017>
- Hussein, L., & Amlah, L. (2015). Structural behavior of ultra-high performance fiber reinforced concrete-normal strength concrete or high strength concrete composite members. *Construction and Building Materials*, 93, 1105–1116. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.030>
- Issa, M. S., Metwally, I. M., & Elzeiny, S. M. (2011). Influence of fibers on flexural behavior and ductility of concrete beams reinforced with GFRP rebars. *Engineering Structures*, 33(5), 1754–1763. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.02.014>
- Kazemi, M. T., Golsorkhtabar, H., Beygi, M. H. A., & Gholamitabar, M. (2017). Fracture properties of steel fiber reinforced high strength concrete using work of fracture and size effect methods. *Construction and Building Materials*, 142, 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.089>
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Wu, Y. F., & Patnaikuni, I. (2018). Effect of macro-synthetic fibers on the fracture energy and mechanical behavior of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 189, 857–868. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.161>
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Wu, Y. F., Patnaikuni, I., Zhou, Y., & Xing, F. (2019). Axial stress-strain behavior of macro-synthetic fiber reinforced recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 97(January), 341–356. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.01.005>
- Martinola, G., Meda, A., Plizzari, G. A., & Rinaldi, Z. (2010). Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 32(9), 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.001>
- Mudadu, A., Tiberti, G., Germano, F., Plizzari, G. A., & Morbi, A. (2018). The effect of fiber orientation on the post-cracking behavior of steel fiber reinforced concrete under bending and uniaxial tensile tests. *Cement and Concrete Composites*, 93(July), 274–288. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.07.012>
- Nguyen, D. L., Thai, D. K., Nguyen, H. T. T., Nguyen, T. Q., & Le-Trung, K. (2021). Responses of composite beams with high-performance fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 270, 121814. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121814>
- Oh, B. H., Kim, J. C., & Choi, Y. C. (2007). Fracture behavior of concrete members reinforced with structural synthetic fibers. *Engineering Fracture Mechanics*, 74(1–2), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2006.01.032>
- Pujadas, P., Blanco, A., Cavalaro, S., de la Fuente, A., & Aguado, A. (2017). The need to consider flexural post-cracking creep behavior of macro-synthetic fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 149, 790–800. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.166>
- Smarzewski, P., & Barnat-Hunek, D. (2018). Property Assessment of Hybrid Fiber-Reinforced Ultra-High-Performance Concrete. *International Journal of Civil Engineering*, 16(6), 593–606. <https://doi.org/10.1007/s40999-017-0145-3>
- Song, P. S., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669–673. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.027>
- Sucharda, O., Pajak, M., Ponikiewski, T., & Konecny, P. (2017). Identification of mechanical and fracture properties of self-compacting concrete beams with different types of steel fibres using inverse analysis. *Construction and Building Materials*, 138, 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.077>
- Tong, T., Yuan, S., Wang, J., & Liu, Z. (2021). The role of bond strength in structural behaviors of UHPC-NC composite beams: Experimental investigation and finite element modeling. *Composite Structures*, 255(February 2020), 112914. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112914>
- Yao, W., Li, J., & Wu, K. (2003). Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction. *Cement and Concrete Research*, 33(1), 27–30. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00913-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00913-4)
- Yin, S., Tuladhar, R., Shi, F., Combe, M., Collister, T., & Sivakugan, N. (2015). Use of macro plastic fibres in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 93, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.105>



Reference Evapotranspiration Prediction from Limited Climatic Variables Using Support Vector Machines and Gaussian Processes

Yasser Zouzou¹, Hatice Citakoglu^{2*}

¹ Department of Civil Engineering, Erciyes University, Kayseri, Turkey (ORCID ID 0000-0002-9690-3882), yasserzouzou@gmail.com

² Department of Civil Engineering, Erciyes University, Kayseri, Turkey (ORCID ID 0000-0001-7319-6006), hcitakoglu@erciyes.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999319)

ATIF/REFERENCE: Zouzou, Y., Citakoglu, H., (2021). Reference Evapotranspiration Prediction from Limited Climatic Variables Using Support Vector Machines and Gaussian Processes. *European Journal of Science and Technology*, (28), 346-351.

Abstract

Climatic variables collected from weather stations evenly distributed in all regions of Turkey were used to study the potential of Gaussian Process Regression (GPR) and Support Vector Regression (SVR) in predicting reference evapotranspiration (ET₀). The variables used as input features for the GPR and SVR models were solar radiation, mean temperature, wind speed, relative humidity, and month of the year. The corresponding ET₀ values were calculated using the Food and Agriculture Organization recommended equation FAO 56 PM using climatic measurements collected from the same stations. Results show that regression models with high accuracies are possible using GPR and SVR models. The most effective input variable for ET₀ prediction was found to be solar radiation. Relative humidity had the lowest impact on model accuracies.

Keywords: Reference Evapotranspiration, Gaussian Processes Regression, Support Vector Regression.

Destek Vektör Makineleri ve Gauss Süreçleri Kullanılarak Sınırlı İklim Değişkenlerinden Referans Evapotranspirasyon Tahmini

Öz

Türkiye'nin tüm bölgelerine eşit olarak dağılmış hava istasyonlarından toplanan iklim değişkenleri, Gaussian Proses Regresyon (GPR) ve Destek Vektör Regresyonunun (SVR) referans evapotranspirasyonu (ET₀) tahmin etme potansiyelini incelemek için kullanılmıştır. GP ve SVR modelleri için girdi özellikleri olarak kullanılan değişkenler güneş radyasyonu, ortalama sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem ve yılın ayıdır. Karşılık gelen ET₀ değerleri, aynı istasyonlardan toplanan iklim ölçümleri kullanılarak Gıda ve Tarım Örgütü tarafından önerilen FAO 56 PM denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, GPR ve SVR modelleri kullanılarak yüksek doğruluğa sahip regresyon modellerinin mümkün olduğunu göstermektedir. ET₀ tahmini için en etkili girdi değişkeninin güneş radyasyonu olduğu bulunmuştur. Bağıl nem, model doğrulukları üzerinde en düşük etkiye sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Referans Evapotranspirasyon, Gaussian Proses Regresyon, Destek Vektör Regresyon.

* hcitakoglu@erciyes.edu.tr

1. Introduction

Evapotranspiration is the loss of moisture from earth by evaporation of free water and transpiration from plants. Measuring evapotranspiration rates is crucial for planning efficient irrigation schemes, especially in arid and semi-arid regions where water resources are limited [1]. The Food and Agriculture Organization (FAO) recommends using the FAO56 Penman-Monteith equation, Eq. (1), for reference evapotranspiration calculation [2]. Reference evapotranspiration (ET₀) is the evapotranspiration that occurs in a surface of specified crop type and properties (reference surface). Then, using pre-determined relationships between evapotranspiration and crop properties, the real evapotranspiration relative to local crop types can be found. Using this method, surface and crop related variables can be eliminated from the evapotranspiration equation, which renders it more generalized.

$$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{\rho_a c_p (e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(a + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (1)$$

R_n: Net Radiation, G: Soil heat flux, (e_s-e_a): Vapour pressure deficit of the air, ρ_a: Mean air density, c_p: Specific heat of the air, Δ: Slope of saturation vapour pressure temperature relationship, γ: Psychrometric constant, r_s, r_a: Surface and aerodynamic resistances

The FAO56-PM ET₀ equation still requires numerous measured variables, some of which can only be acquired from major weather stations. The absence of these measurements in rural areas, especially in developing countries, limits the usability of the FAO56-PM equation. This complexity of evapotranspiration measurement has induced research in estimating its values from easily obtainable climatic measurements, such as temperature and wind speed. One of the earliest and most popular equations that estimate ET₀ using few variables, ambient air temperature and solar radiation, is the Hargreaves equation (HG) [3]. Various empirical equations were proposed for estimating evapotranspiration from limited data [4].

With the immergence of machine learning (ML), scientists studied the potential of ML in ET₀ estimation. Machine learning is a set of algorithms that can learn relationships between different variables and patterns in a dataset, eventually finding the equations that relate variables to each other without being explicitly being programmed for this purpose. ML models are based on statistical and probabilistic rules and can deal with large datasets and cases of nonlinearity. These properties of ML rendered its potential in ET₀ estimation using few variables very high. V. Nourani et al. (2014) thoroughly reviewed the use of artificial intelligence tools for reference evapotranspiration estimation, focusing on studies that apply a Wavelet transform on input variables [5]. Chia et al. (2020) provide a more recent review of ET₀ estimation using AI methods [6].

Citakoglu et al. (2014) estimated monthly mean reference transpiration in Turkey from several combinations of input variables using adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural network (ANN) models [7]. H. Citakoglu et al. (2014) concluded that solar radiation, air temperature, wind speed, and relative humidity are the most effective input features for estimating ET₀.

Wen et al. (2015) set a measuring station in a specific site in Ejina basin in China to measure meteorological data required for daily ET₀ estimation using the FAO-56 PM equation [8]. Then, support vector regression (SVR) models were used to estimate daily ET₀ values. Results show that models that took in maximum and minimum daily temperatures and solar radiation as inputs gave the most accurate results.

Carter and Liang (2019) compared ten machine learning models to predict ET values using data collected from satellite sensors (GLASS, MODIS) and data from measuring towers obtained from Fluxnet and Ameriflux [9]. This study emphasized the potential of satellite data inclusion in ML models for ET₀ estimation.

Yu et al. (2020) investigated the uncertainty of artificial intelligence methods in estimating daily reference evapotranspiration [10]. Whereas other papers were concerned about the potential of different AI models for ET₀ estimation and their accuracies, this paper attacked the problem from a more scientific way. It was shown that wind speed, solar radiation, and max/min temperatures were the most contributing variables to the variation of ET₀ estimates. These results were scientifically verified through the explanation of energy transformation and evapotranspiration demands.

In this study, climatic data collected from weather stations around Turkey will be used to estimate ET₀ using Gaussian process regression (GPR). The use of this ML algorithm for ET₀ estimation is limited in academia. Moreover, to the knowledge of the author, this study is the first to apply GPR on climatic data collected from sparsely spread locations in Turkey.

2. Material and Method

2.1. Support Vector Machines (SVM)

Support vector machine (SVM) algorithm was first developed as a classifier. The SVM algorithm finds the best hyperplane that separates different variables. The best hyperplane is the one that has the greatest margin that separates it from all variables equally (Fig 1.). In most cases, variables cannot be separated by a hyperplane in the original dimensional space. Kernels are used to transform the data to a higher dimensional space where variables can be separated using a hyperplane. For this study, the radial basis function kernel was used as an SVM kernel. Using the same algorithm, the classification hyperplane can be used as a regression hyperplane by maximizing the number of variables that fall inside the margin.

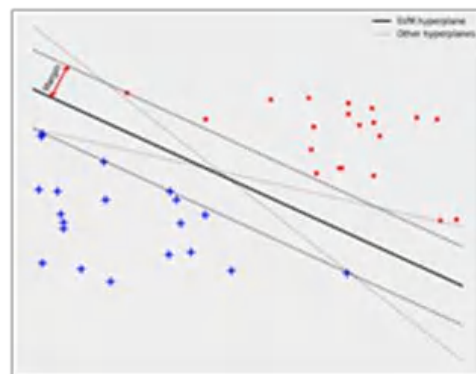


Fig. 1 Support vector machine (SVM) classification

In order to create a regularized model and avoid overfitting, an allowance for the regression hyperplane to miss some values is given by introducing a threshold parameter ϵ . By defining a maximum threshold value, all training predictions will be constrained to not be farther from true values than the threshold allows. The thresholds of all variables are multiplied by a parameter C that penalizes high threshold parameters in the loss function. Therefore, large C values result in low training error and possible overfit, and small C values result in higher tolerance for errors and less overfit. For this study, Python’s scikit-learn library, which is an open-source machine learning library, was used. The RBF kernel equation used in this library (Eq. 2) contains one optimizable variable, γ . This variable determines the proximity correlated variables to each other. For instance, a small γ corresponds to variables away from each other being correlated, thus a smoother function.

$$K_{RBF}(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \cdot (x_i - x_j)^2) \quad (2)$$

The three previously mentioned SVR parameters are chosen using cross validation. In cross validation, the available data is divided to a number of folds, in this study five folds, whereby in every iteration one fold is used as a test set and the other folds are used to train the model. Using a set of preliminary values for each variable, a grid search is applied by creating a model for each variable combination. From the mean score of the 5 tests, the best parameter combination is determined.

2.2. Gaussian Processes Regression

Gaussian process is a joint distribution of variables, where every subset of these variables is normally distributed. Gaussian processes are used to solve regression problems. To define a Gaussian process, a prior multivariate Gaussian distribution is required [11]. This prior is defined by a mean vector and a covariance matrix. The prior mean vector value has minor effect on the regression model and is usually assumed zero. The covariance matrix is created using kernel functions that take in every two data point combination and return the corresponding value for the covariance matrix. Kernels ensure that the resulting covariance matrix is positive semi-definite. The choice of the kernel and its parameters is the determining factor of the accuracy and quality of the regression model. Using the defined kernel function, a modified covariance matrix is created using training and test data, which represents the posterior [12]. Predictions made using Gaussian processes are accompanied with their uncertainty values. Predictions near training data have low uncertainty, and predictions further away have higher uncertainty values. It is worth mentioning that the regression curve tends to return to the mean value of the prior distribution when data is unavailable (Fig. 2). Therefore, it is not recommended to extrapolate from the resulting regression function.

Radial basis function (RBF) kernel, Eq. (3), was seen as most suitable for ET0 prediction. The RBF kernel assumes that points next to each other have higher correlations than points away from each other, which is the case for reference evapotranspiration. There are two parameters that should be optimized in an RBF kernel, variance and length scale. Variance determines the prior variance in case no data is available. Length scale determines the spacing between correlated variables, i.e., a low value of length scale corresponds to a noisier function and a higher value corresponds to a smoother function.

$$K_{RBF}(x_i, x_j) = \sigma^2 \exp\left(-\frac{(x_i - x_j)^2}{2l^2}\right) \quad (3)$$

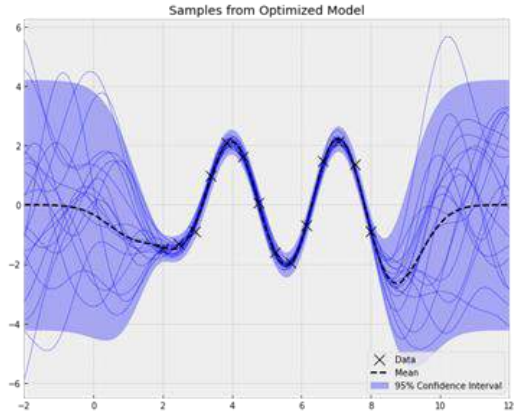


Fig. 2 Sine function regression using Gaussian Processes

The posterior covariance matrix will have zero variance for training data points, which is unrealistic and causes overfitting. To solve this issue, Gaussian noise, Eq. (4), is added to the derived covariance matrix to allow for variance round training data points. The variance of the added Gaussian noise should also be optimized.

$$\epsilon = N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

GPy Python package was used in this study. GPy is an open-source Gaussian process framework written in Python by The Sheffield Machine Learning group. Parameter optimization is done using the Limited Broyden – Fletcher – Goldfarb – Shanno (LBFGS) algorithm.

2.3. Materials

This study is conducted on a dataset consisting of 3300 measurements of five climatic variables and the corresponding reference evapotranspiration obtained from the General Directorate of Turkish State Meteorological Service (TSMS). The measured variables are solar radiation (R_s), mean temperature (T_avg), relative humidity (RH), wind speed (WS), and the number of the month (Mo) in which the measurements were taken. These climatic variables were collected from 275 weather stations around Turkey during a period ranging between 20 to 45 years on some stations. The reference evapotranspiration corresponding to each set of climatic variables was calculated using the FAO-56 PM equation, whereby the required variables for the equation were collected from the same weather stations.

The dataset can be accepted as a general case in Turkey, as the weather stations are evenly distributed around the country. The dataset was split into a training set and a testing set by a ratio of 1:4. The distribution of variables of both sets are shown in Fig. 3. It can be seen that both, training and test datasets, have similar distributions.

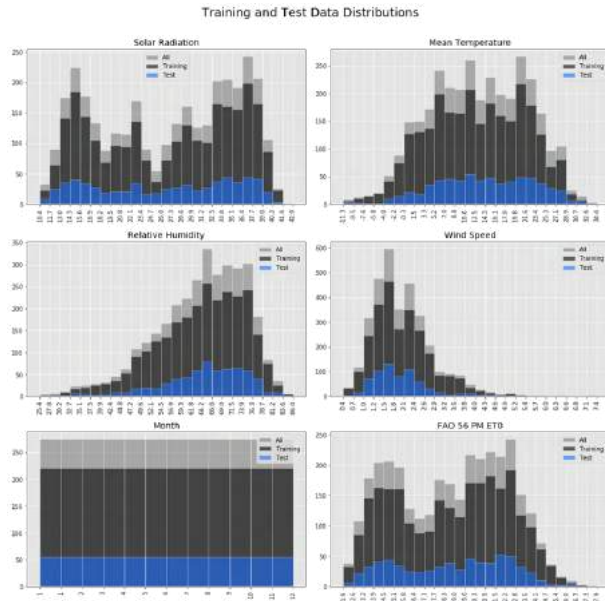


Fig 3. Distributions of variables

2.4. Model Evaluation

Model evaluation is done using three parameters: mean absolute error (MAE), root mean squared error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2), given in Eq. (5-7). MAE and RMSE are two measures of error, therefore perfect models would have MAE and RMSE values equal to zero. The coefficient of determination measures the ratio of variation represented by the regression line to the total variation of data for a linear regression. A regression line that is the mean value of data would have $R^2=0$, whereas a perfect model would have $R^2=1$.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |Y_{i,measured} - Y_{i,predicted}| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Y_{i,measured} - Y_{i,predicted})^2} \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i,predicted} - Y_{mean})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{i,measured} - Y_{mean})^2} \quad (7)$$

3. Results and Discussion

Several combinations of input variables were used to create Gaussian Process and Support Vector Regression models. Resulting scores for both training and test datasets are given in Table 1–2 sorted from the worst to the best model, with the relative estimation-measurement plots given in Fig 4–6 for GPR and SVR models, respectively. All models, GPR and SVR, were created using the radial basis function kernel; however, the kernel

parameters were optimized for each input case. It can be seen that solar radiation on its own can produce good results, which is scientifically expected as solar radiation is the factor that determines energy balance. Function samples from the Gaussian process model with solar radiation as an input are represented in Fig 4–6 with a 95% confidence range.

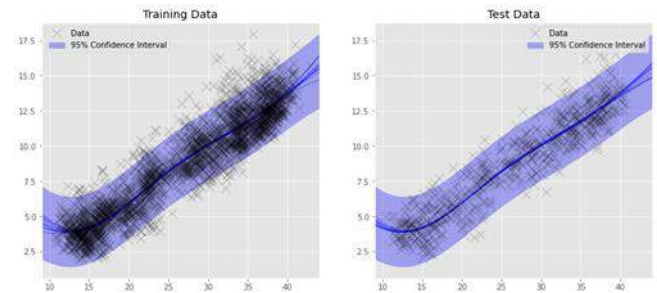


Fig 4. Function samples from model 3.

Table 1. Models and Variables

Model	Variables	Algorithm
Model 1	T_{avg}, WS	GPR
		SVR
Model 2	T_{avg}, RH, WS	GPR
		SVR
Model 3	R_s	GPR
		SVR
Model 4	T_{avg}, Mo	GPR
		SVR
Model 5	T_{avg}, WS, Mo	GPR
		SVR
Model 6	R_s, T_{avg}, Mo	GPR
		SVR
Model 7	R_s, T_{avg}, WS, Mo	GPR
		SVR

Relative humidity was seen to have minor effect on the model results and was therefore eliminated from other models. Adding the month of the year to the model with mean temperature and wind speed caused a significant improvement in the model accuracy. This can be explained by the correlation between month of the year and sunshine hours and solar radiation. A model including solar radiation, wind speed, mean temperature, and month variables showed very high accuracy and low MAE and RMSE errors. Results show that GPR and SVR models have similar accuracies and errors, although GPR models were marginally better on test data, hence the better regularization of GPR models.

Table 2. Model Errors for Training and Test Scores

Algorithm	Training Scores			Test Scores		
	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²
GPR	1.441	1.771	0.749	1.561	1.91	0.691
SVR	1.422	1.787	0.744	1.577	1.974	0.670
GPR	1.275	1.594	0.796	1.428	1.779	0.732
SVR	1.260	1.629	0.787	1.418	1.814	0.721
GPR	0.976	1.259	0.873	0.907	1.167	0.885
SVR	0.974	1.265	0.872	0.915	1.179	0.882
GPR	0.716	0.977	0.923	0.694	0.946	0.924
SVR	0.698	0.960	0.926	0.678	0.930	0.927
GPR	0.578	0.798	0.949	0.601	0.855	0.938
SVR	0.536	0.767	0.953	0.602	0.866	0.936
GPR	0.564	0.753	0.955	0.508	0.663	0.963
SVR	0.544	0.741	0.956	0.489	0.641	0.965
GPR	0.240	0.321	0.992	0.255	0.350	0.990
SVR	0.242	0.323	0.992	0.271	0.368	0.988

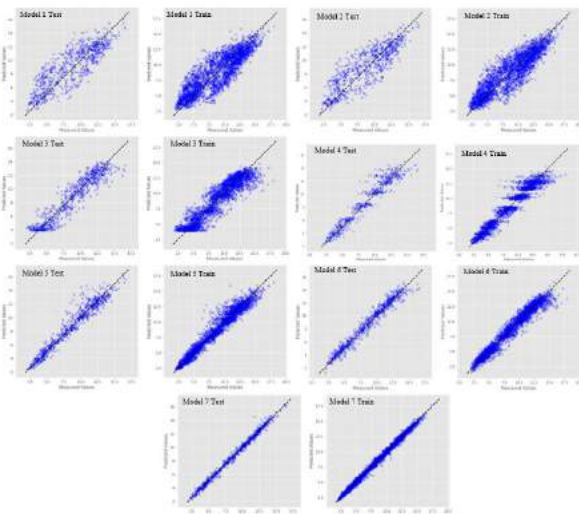


Fig. 5 GPR Prediction-Measurement plots

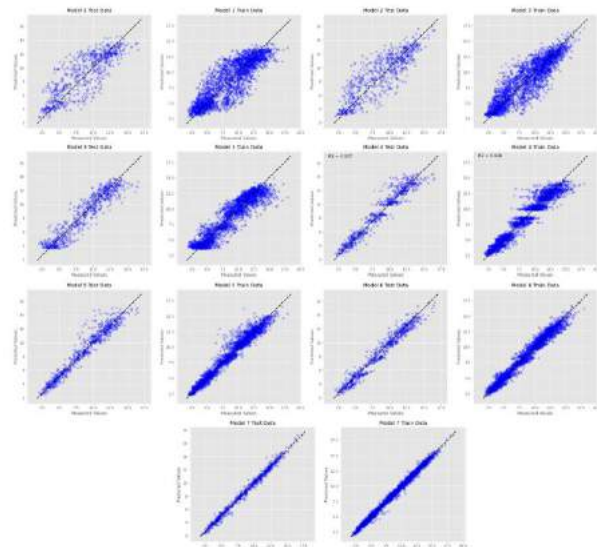


Fig. 6 SVR Prediction-Measurement plots

4. Conclusions and Recommendations

Artificial intelligence has taken a large portion of research in climate science. The nonlinearity of meteorological variables and their dependency on many other properties and variables render machine learning models beneficial and efficient in this field. Calculating reference evapotranspiration using minimum climatic variables has always been a requirement, especially in rural areas where obtainable measurements are limited. Using machine learning algorithms, accurate ET₀ estimations are obtainable.

In this paper, the potential of Gaussian Processes in predicting ET₀ values from easily measurable climatic variables was investigated. Prediction accuracies exceeding 99% were obtainable from only four input features, in comparison with the numerous input variables for the FAO 56 PM equation. Besides being accurate, Gaussian Process models provide an uncertainty value with every prediction, making it more suitable for real-world usage.

The dataset used to conduct this study consists of climatic variables measured from all around Turkey. Moreover, both test and train datasets contained data from all Turkey’s regions. This, along with the obtained accuracy results, proves that a single model is suitable for use in different areas of relatively different climates. Therefore, predictions to be done in areas in Turkey other than the studied areas will be as accurate as the ones in this study.

References

- [1] Droogers, P., Allen, R. G., Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems*, 16: 33–45, 2002.
- [2] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation & drainage Paper 56*. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 50 pp, 1998.

- [3] Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., Reference Crop Evapotranspiration From Temperature. *American Society of Agricultural Engineers*, 96–99, 1985.
- [4] Xu, C. Y., Singh, V. P., Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*, 16 (3): 197–219, 2002.
- [5] Nourani, V., Hosseini Baghanam, A., Adamowski, J., Kisi, O., Applications of hybrid wavelet-Artificial Intelligence models in hydrology: A review. *Journal of Hydrology*, 514: 358–377, 2014.
- [6] Chia, M. Y., Huang, Y. F., Koo, C. H., & Fung, K. F., Recent advances in evapotranspiration estimation using artificial intelligence approaches with a focus on hybridization techniques—a review. *Agronomy*, 10(1), 101, (2020).
- [7] Citakoglu, H., Cobaner, M., Haktanir, T., Kisi, O., Estimation of Monthly Mean Reference Evapotranspiration in Turkey. *Water Resources Management*, 28 (1): 99–113, 2014.
- [8] Wen, X., Si, J., He, Z., Wu, J., Shao, H., & Yu, H., Support-Vector-Machine-Based Models for Modeling Daily Reference Evapotranspiration With Limited Climatic Data in Extreme Arid Regions. *Water Resources Management*, 29 (9): 3195–3209, 2015.
- [9] Carter, C., Liang, S., Evaluation of ten machine learning methods for estimating terrestrial evapotranspiration from remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 78 (October 2018): 86–92, 2019.
- [10] Yu, H., Wen, X., Li, B., Yang, Z., Wu, M., & Ma, Y., Uncertainty analysis of artificial intelligence modeling daily reference evapotranspiration in the northwest end of China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105653, 2020.
- [11] Özkaya, U., Öztürk, Ş., Gaussian Regression Models for Day-Level Forecasting of COVID-19 in European Countries. In *Understanding. COVID-19: The Role of Computational Intelligence*, 2022, pp. 339-356, Springer, Cham.
- [12] Özkaya, U., Yiğit, E., Seyfi, L., Öztürk, Ş., Singh, D., Comparative Regression Analysis for Estimating Resonant Frequency of C-Like Patch Antennas. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.



Number of Subsets of the Set $[n]$ Including No Three Consecutive Odd Integers

Bariş Arslan^{1*}, Kemal Uslu²

^{1*} Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6972-3317), barismath@gmail.com

² Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6265-3128), kuslu@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999521)

ATIF/REFERENCE: Arslan, B. & Uslu, K. (2021). Number of Subsets of the Set $[n]$ Including No Three Consecutive Odd Integers. *European Journal of Science and Technology*, (28), 352-356.

Abstract

For every $n \in \mathbb{N}$, let a_n be the number of subsets S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive odd integers. We give the generating function and the closed form formula of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$ obtaining sixth order linear homogeneous recurrence relation with constant coefficients of the integer sequence. The sequence is associated with the Tribonacci sequence. The combinatorial representation of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$ is obtained and limit of the ratios of consecutive terms of the sequence is found.

Keywords: Tribonacci numbers, Consecutive odd integers, Generating function, Combinatorial representation.

$[n]$ Kümesinin Ardışık Üç Tam Sayı İçermeyen Alt Kümelerinin Sayısı

Öz

Her $n \in \mathbb{N}$ için a_n , $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ kümesinin ardışık üç tek tam sayı içermeyen S alt kümelerinin sayısı olsun. $(a_n)_{n \geq 0}$ dizisinin altıncı dereceden sabit katsayılı lineer homojen rekürans bağıntısını elde ederek dizinin üreteç fonksiyonunu ve kapalı form formülünü verdik. Dizi Tribonacci sayı dizisi ile ilişkilendirildi. $(a_n)_{n \geq 0}$ dizisinin kombinatoryal gösterimi elde edildi ve dizinin ardışık terimlerinin oranlarının limiti bulundu.

Anahtar Kelimeler: Tribonacci sayıları, Ardışık tek sayılar, Üreteç fonksiyon, Kombinatoryal gösterim.

* Corresponding Author: barismath@gmail.com

1. Introduction

The Tribonacci numbers are a generalization of the Fibonacci numbers. Some properties of Tribonacci numbers are given in [1, 3, 5, 6, 9, 10].

The Tribonacci sequence $(T_n)_{n \geq 0}$ is defined by the third-order recurrence relation:

$$T_n = T_{n-1} + T_{n-2} + T_{n-3},$$

$$T_0 = 0, T_1 = 1, T_2 = 1 \tag{1}$$

In [7] the Binet's formula for the Tribonacci sequence is given by

$$T_n = \frac{\alpha^{n+1}}{(\alpha - \beta)(\alpha - \gamma)} + \frac{\beta^{n+1}}{(\beta - \alpha)(\beta - \gamma)} + \frac{\gamma^{n+1}}{(\gamma - \alpha)(\gamma - \beta)} \tag{2}$$

where α, β and γ are roots of the cubic equation $x^3 - x^2 - x - 1 = 0$, ie.,

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3},$$

$$\beta = \frac{1 + \omega \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \omega^2 \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3},$$

$$\gamma = \frac{1 + \omega^2 \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \omega \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3},$$

where $\omega = \frac{-1+i\sqrt{3}}{2}$ is a primitive cube root of unity.

“The number of subsets S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ such that S contains no three consecutive integers.” can be expressed in terms of the Tribonacci numbers. The answer is T_{n+2} by obtaining a recurrence by considering those subsets S which do or do not contain the first element ‘1’. By taking consecutive odd integers instead of consecutive integers, we consider the following counting problem:

What is the number of subsets S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ such that S contains no three consecutive odd integers? In this paper, we denote the sequence by $(a_n)_{n \geq 0}$ corresponding to the counting problem.

After obtaining recursive definition of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$, we give the generating function, the closed form formula, the combinatorial representation and limit of the ratios of consecutive terms of the sequence.

2. Main Results

2.1. Recursive definition of the sequence

Let's write subsets S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ such that S contains no three consecutive odd integers for some small n values as shown in Table 1.

Table 1. Subsets S of the set $\{1, 2, \dots, n\}$ containing no three consecutive odd integers for some small n values

n	S	a_n
0	{}	1
1	{}, {1}	2
2	{}, {1}, {2}, {1, 2}	4
3	{}, {1}, {2}, {3}, {1, 2}, {1, 3}, {2, 3}, {1, 2, 3}	8
4	{}, {1}, {2}, {3}, {4}, {1, 2}, {1, 3}, {1, 4}, {2, 3}, {2, 4}, {3, 4}, {1, 2, 3}, {1, 2, 4}, {1, 3, 4}, {2, 3, 4}, {1, 2, 3, 4}	16
5	{}, {1}, {2}, {3}, {4}, {5}, {1, 2}, {1, 3}, {1, 4}, {1, 5}, {2, 3}, {2, 4}, {2, 5}, {3, 4}, {3, 5}, {4, 5}, {1, 2, 3}, {1, 2, 4}, {1, 2, 5}, {1, 3, 4}, {1, 4, 5}, {2, 3, 4}, {2, 3, 5}, {2, 4, 5}, {3, 4, 5}, {1, 2, 3, 4}, {1, 2, 4, 5}, {2, 3, 4, 5}	28

Hence, we get the initial conditions;

$$a_0 = 1, a_1 = 2, a_2 = 4, a_3 = 8, a_4 = 16, a_5 = 28.$$

Consider subsets counted by a_n . Let's find a recurrence for the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$. For $n > 5$ there are three cases for the subsets:

- The number of subsets not containing 1 as an element is $2a_{n-2}$.
- The number of subsets which contain 1, but don't contain 3, is $4a_{n-4}$.
- The number of subsets which contain 1 and 3, but don't contain 5, is $8a_{n-6}$.

This gives a recurrence

$$a_n = 2a_{n-2} + 4a_{n-4} + 8a_{n-6}. \tag{3}$$

2.2. Generating function and the Binet formula of the sequence

Let the generating function associated to the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$ be the formal power series

$$F(x) = \sum_{n \geq 0} a_n x^n.$$

To find $F(x)$, multiply both sides of the recurrence relation (3) by x^n and sum over the values of n for which the recurrence is valid, namely, over $n \geq 6$. We get,

$$\sum_{n \geq 6} a_n x^n = \sum_{n \geq 6} 2a_{n-2} x^n + \sum_{n \geq 6} 4a_{n-4} x^n + \sum_{n \geq 6} 8a_{n-6} x^n \tag{4}$$

Then try to relate these sums to the unknown generating function $F(x)$. We have,

$$\begin{aligned} \sum_{n \geq 6} a_n x^n &= F(x) - a_0 - a_1 x - a_2 x^2 - a_3 x^3 - a_4 x^4 - a_5 x^5 \\ &= F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3 - 16x^4 - 28x^5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{n \geq 6} 2a_{n-2}x^n &= 2x^2 \sum_{n \geq 6} a_{n-2}x^{n-2} \\ &= 2x^2(F(x) - a_0 - a_1x - a_2x^2 - a_3x^3) \\ &= 2x^2(F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{n \geq 6} 4a_{n-4}x^n &= 4x^4 \sum_{n \geq 6} a_{n-4}x^{n-4} = 4x^4(F(x) - a_0 - a_1x) \\ &= 4x^4(F(x) - 1 - 2x) \end{aligned}$$

$$\sum_{n \geq 6} 8a_{n-6}x^n = 8x^6 \sum_{n \geq 6} a_{n-6}x^{n-6} = 8x^6 F(x)$$

If we write these results on the two sides of (4), we find

$$\begin{aligned} F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3 - 16x^4 - 28x^5 \\ = 2x^2(F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3) + 4x^4(F(x) - 1 - 2x) \\ + 8x^6 F(x). \end{aligned}$$

Which is trivial to solve for the unknown generating function $F(x)$ in the form

$$F(x) = \frac{1 + 2x + 2x^2 + 4x^3 + 4x^4 + 4x^5}{1 - 2x^2 - 4x^4 - 8x^6}. \quad (5)$$

Theorem 1. For $n \in \mathbb{N}$, let a_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ containing no three consecutive odd integers. Then we have the following formulas for the subsequences of $(a_n)_{n \geq 0}$

$$a_{2n} = 2^n T_{n+2}, \quad (6)$$

$$a_{2n-1} = 2^{n-1} T_{n+2}. \quad (7)$$

where T_n is the n th Tribonacci number defined by (1).

Proof. If $A(x)$ is the generating function for even terms of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$, then it is clear that $A(x) = \frac{1}{2}(F(x) + F(-x))$. Substituting (5) we get,

$$A(x) = \frac{1 + 2x^2 + 4x^4}{1 - 2x^2 - 4x^4 - 8x^6} \quad (8)$$

Substituting $u = 2x^2$ in (8) we have,

$$A(u) = \frac{1 + u + u^2}{1 - u - u^2 - u^3}.$$

The generation function of the Tribonacci sequence with initial conditions $T_0 = 1, T_1 = 1, T_2 = 2$ is

$$\frac{1}{1 - x - x^2 - x^3}.$$

$$(1, 1, 2, 4, 7, 13, 24, \dots) \leftrightarrow \frac{1}{1 - x - x^2 - x^3} \quad (9)$$

Now let's right- shift the sequence (9) by adding 1 and 2 leading zeros respectively:

$$(0, 1, 1, 2, 4, 7, 13, 24, \dots) \leftrightarrow \frac{x}{1 - x - x^2 - x^3}$$

$$(0, 0, 1, 1, 2, 4, 7, 13, 24, \dots) \leftrightarrow \frac{x^2}{1 - x - x^2 - x^3}$$

Let's try to obtain the generating function $A(x)$ using the generating functions of the Tribonacci sequences given in terms of initial conditions:

$$A(u) = (1 + u + 2u^2 + 4u^3 + \dots + T_{n+1}u^n + \dots)$$

$$+ (0 + u + u^2 + 2u^3 + \dots + T_n u^n + \dots)$$

$$+ (0 + 0u + u^2 + u^3 + \dots + T_{n-1}u^n + \dots)$$

$$A(u) = (1 + 2u + 4u^2 + 7u^3 + \dots + T_{n+2}u^n + \dots)$$

$$\begin{aligned} A(x) &= (1 + 2(2x^2) + 4(2x^2)^2 + 7(2x^2)^3 + \dots \\ &+ T_{n+2}(2x^2)^n + \dots) \end{aligned}$$

$$A(x) = 1 + 2.2x^2 + 4.2^2x^4 + 7.2^3x^6 + \dots$$

$$+ T_{n+2} \cdot 2^n x^{2n} + \dots$$

Since $A(x)$ is the generating function for even terms of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$, we have

$$a_{2n} = 2^n T_{n+2}$$

where T_n is the Tribonacci numbers with initial conditions;

$$T_0 = 0, T_1 = 1, T_2 = 1.$$

If $B(x)$ is the generating function for odd terms of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$, then it is clear that $B(x) = \frac{1}{2}(F(x) - F(-x))$. Similarly using (5) and generating function method, for $n \geq 1$ we have

$$a_{2n-1} = 2^{n-1} T_{n+2}.$$

The proof is completed.

Corollary 1. For $n \in \mathbb{N}$, let a_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive odd integers. Then we have the following closed form formula

$$a_n = 2^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} T_{\lceil \frac{n+4}{2} \rceil}.$$

where T_n is the n th Tribonacci number, $\lfloor n \rfloor$ is the floor of n and $\lceil n \rceil$ is the ceiling of n .

Proof. Using Theorem 1, we can write piecewise defined sequence $(a_n)_{n \geq 0}$ as follows:

$$a_n = \begin{cases} 2^{\frac{n}{2}} T_{\frac{n+4}{2}}, & \text{if } n \text{ is even} \\ 2^{\frac{n-1}{2}} T_{\frac{n+5}{2}}, & \text{if } n \text{ is odd} \end{cases}$$

When n is even, $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor = \frac{n}{2}$ and $\lceil \frac{n+4}{2} \rceil = \frac{n+4}{2}$. When n is odd, $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor = \frac{n-1}{2}$ and $\lceil \frac{n+4}{2} \rceil = \frac{n+5}{2}$. Then it is easy to see that

$$a_n = 2^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} T_{\lceil \frac{n+4}{2} \rceil}.$$

2.3. Obtaining Binet formula of the sequence with combinatorial approach

Let's try to find formulas respectively for the subsequences $(a_{2n})_{n \geq 0}$ and $(a_{2n-1})_{n \geq 1}$ of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$. Let's consider the set, $M = \{1, 2, 3, \dots, 2n\}$. For every $n \in \mathbb{N}$, let a_{2n} be the number of subsets of S of the set $M = \{1, 2, 3, \dots, 2n\}$ containing no three consecutive odd integers. First, we separate the set M into two disjoint subset $S_1 = \{1, 3, 5, \dots, 2n-1\}$ and $S_2 = \{2, 4, 6, \dots, 2n\}$. First notice that, counting subsets from S_1 including no three consecutive odd integers is equivalent to counting subsets from $\{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive integers. Hence there are T_{n+2} subsets where T_n is the Tribonacci numbers defined by (1). The number of subsets of S_2 include no three consecutive odd integers is equal to 2^n since all elements of S_2 are even integers. Using multiplication principle, the total number of subsets of M containing no three consecutive odd integers is $2^n T_{n+2}$. Hence, we have

$$a_{2n} = 2^n T_{n+2}.$$

Considering the set, $M = \{1, 2, 3, \dots, 2n-1\}$ and using the same counting technique we have

$$a_{2n-1} = 2^{n-1} T_{n+2}.$$

2.4. The combinatorial representation of the sequence

The explicit formula of Tribonacci sequence is given in [4] by the formula

$$T_n = \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n-1-i-j}{i}. \quad (10)$$

Using (6), (7) and (10) we have the combinatorial representation of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$

$$a_{2n} = 2^n \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 0 \quad (11)$$

$$a_{2n-1} = 2^{n-1} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 1. \quad (12)$$

Writing combinatorial identity for 2^n and using (11) and (12) we have,

$$a_{2n} = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 0$$

$$a_{2n-1} = \sum_{k=0}^{n-1} \binom{n-1}{k} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 1.$$

2.5. Limit of the ratios of consecutive terms of the sequence

It's well known that the limit of the ratio of two consecutive Fibonacci numbers is the Golden Ratio. A similar relationship occurs for the Tribonacci numbers.

Define the sequence $x_n = \frac{T_{n+1}}{T_n}$ for $n \geq 1$ and $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = L$ exist. Using (1) for $n \geq 3$ we have

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{T_{n-2} + T_{n-1} + T_n}{T_n} = \frac{T_{n-2}}{T_n} + \frac{T_{n-1}}{T_n} + 1, \\ x_n &= \frac{T_{n-1}}{T_{n-1}} \frac{T_{n-2}}{T_n} + \frac{T_{n-1}}{T_n} + 1, \\ x_n &= \frac{1}{\frac{T_{n-1}}{T_{n-2}}} \frac{1}{\frac{T_n}{T_{n-1}}} + \frac{1}{\frac{T_n}{T_{n-1}}} + 1, \\ x_n &= \frac{1}{x_{n-2}} \frac{1}{x_{n-1}} + \frac{1}{x_{n-1}} + 1. \end{aligned} \quad (13)$$

Taking the limit of both sides of (1), we obtain $L = \frac{1}{L^2} + \frac{1}{L} + 1$. Then $L^3 - L^2 - L - 1 = 0$. We know that the terms of values of T_n are real-valued and positive. From (13) we know that

$$L = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}$$

is the only real-valued root of the equation $L^3 - L^2 - L - 1 = 0$. Therefore,

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_{n+1}}{T_n} &= \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3} \\ &\approx 1.839286755. \end{aligned} \quad (14)$$

For any positive integer k and $\alpha = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}$ the following limit is obtained in [1].

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_{n+k}}{T_n} = \alpha^k \quad (15)$$

Corollary 2. For $n \in \mathbb{N}$, let a_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive odd integers. Then we have the following results:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{2n+1}}{a_{2n}} = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3} \quad (16)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{2n}}{a_{2n-1}} = 2, \quad (17)$$

Proof. (16) is implied by (6), (7) and (14). (17) is an immediate consequence of (6) and (7).

Corollary 3. For $n \in \mathbb{N}$, let a_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive odd integers. Then we have the following limit:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{2n+2k-1}}{a_{2n}} = \alpha^k \quad (18)$$

where k is a positive integer and $\alpha = \frac{1 + \sqrt[3]{19+3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19-3\sqrt{33}}}{3}$.

Proof. (18) is an immediate consequence of (6), (7) and (15).

3. Conclusions

In this paper, we first obtained recursive formula of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$ which counts the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive odd integers. Then we had the closed form formula of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$ using the generating function method and combinatorial approach. The combinatorial representation and limit of the ratio of consecutive terms of the sequence are obtained.

References

- [1] Bueno, A. C. F. (2015). A note on generalized Tribonacci sequence, *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 21, 67-69.
- [2] Feinberg, M. (1963). Fibonacci–Tribonacci, *Fibonacci Quarterly*, 1, 71–74.
- [3] Pethe, S. (1988). Some Identities for Tribonacci sequences, *Fibonacci Q.*, 26, 144–151.
- [4] Ramirez, J. L. and Sirvent, V. F. (2014), Incomplete Tribonacci numbers and polynomials, *Journal of Integer Sequences*, 17 Article 14.4.2.
- [5] Shannon, A. (1977). Tribonacci numbers and Pascal’s pyramid, *Fibonacci Q.*, 15, 268–275.
- [6] Spickerman, W. and Joyner, R. N. Binets’s formula for the Recursive sequence of Order K, *Fibonacci Q.*, 22, 327–331.
- [7] Spickerman, W. (1982). Binet’s formula for the Tribonacci sequence, *Fibonacci Q.*, 20, (118-120).
- [8] Wilf, H. S. (1990). *Generatingfunctionology*, Academic Press.
- [9] Yalavigi, C. C. (1972), Properties of Tribonacci numbers, *Fibonacci Quarterly*, 10 231–246.
- [10] Yilmaz, N. and Taskara, N. (2014). Tribonacci and Tribonacci-Lucas Numbers via the Determinants of Special Matrices, *Appl. Math. Sci.*, 8(39), 1947–1955.



Development of Embedded System-Based Lens-Less Microscopy System and Testing on Pathological Samples

Muhammed Ali Pala^{1*}, Mustafa Zahid Yıldız²

^{1*} Department of Electric and Electronics Engineering, Faculty of Technology, Sakarya University of Applied Sciences, 54050, Sakarya, Turkey (ORCID: 0000-0002-8153-7971), pala@subu.edu.tr

² Department of Electric and Electronics Engineering, Faculty of Technology, Sakarya University of Applied Sciences, 54050, Sakarya, Turkey (ORCID: 0000-0003-1870-288X), mustafayildiz@subu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.999707)

ATIF/REFERENCE: Pala, M.A, Yıldız, M.Z (2021). Development of Embedded System-Based Lens-less Microscopy System and Testing on Tissue Samples. *European Journal of Science and Technology*, (28), 357-361.

Abstract

In this study, a low cost and portable general-purpose lens-less microscopy system suitable for clinical conditions was designed and its performance was increased with the help of image processing algorithms without using numerical approaches. In order to avoid the noises caused by the light source or the imaging sensor, the flat field correction method was applied to the images in real time and then interpolation was applied to the images. The microscopy system is integrated into the embedded system and it is aimed to display in RGB color space. By applying flat field correction and interpolation to the obtained images in real time, the SNR and contrast value of the images were improved. The success of the imaging system was examined with a standard calibration chart. The improvement obtained by calculating the pixel intensity values for pre-processing and post-processing is shown. Various tissue samples were examined with the system and its success on medical samples was demonstrated. It has been shown on tissue samples that the system reaches 2.5 μm resolution in imaging tissue samples. It has been shown that the proposed system can be used for imaging pathological tissues in intraoperative procedures and can reduce the examination time. In addition, the obtained system has the potential to be used in the examination of other micro-sized medical samples.

Keywords: lens-free microscopy, lab-on-a-chip, medical imaging, digital pathology.

Gömülü Sistem Tabanlı Lenssiz Mikroskopi Sisteminin Geliştirilmesi ve Patolojik Örnekler Üzerinde Test Edilmesi

Öz

Bu çalışmada, klinik şartlar için elverişli, düşük maliyetli ve taşınabilir genel amaçlı bir lenssiz mikroskopi sistemi tasarlanmış ve nümerik yaklaşımlar kullanılmadan görüntü işleme algoritmaları yardımıyla performansı artırılmıştır. Işık kaynağından veya görüntüleme sensöründen kaynaklı oluşan gürültülerin önüne geçebilmek amacıyla görüntülere gerçek zamanlı olarak homojen alan düzeltmesi metodu uygulanmış ve ardından görüntülere interpolasyon uygulanmıştır. Mikroskopi sistemi gömülü sisteme entegre edilmiş, RGB renk uzayında görüntüleme yapabilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen görüntülere gerçek zamanlı olarak homojen alan düzeltmesi ve interpolasyon uygulanarak görüntülerin SNR ve kontrast değeri iyileştirilmiştir. Görüntüleme sisteminin başarısı standart kalibrasyon çubuğu ile incelenmiştir. Ön-işleme öncesi ve sonrası için piksel yeğinlik değerleri hesaplanarak elde edilen iyileştirme miktarı gösterilmiştir. Sistemle muhtelif doku örnekleri incelenerek, medikal örnekler üzerindeki başarısı gösterilmiştir. Sistemin doku örneklerinin görüntülenmesinde 2.5 μm çözünürlüğe ulaştığı doku örnekleri üzerinde gösterilmiştir. Amaçlanan sistem, intraoperatif işlemlerde patolojik dokuların görüntülenmesinde kullanılabilceği, inceleme süresini düşürebileceği gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen sistem diğer mikro boyutta olan medikal örneklerin incelenmesinde de kullanılabilir potansiyelindedir.

Anahtar Kelimeler: Lenssiz mikroskopi, Çip-üstü-laboratuvar, Medikal görüntüleme, Dijital patoloji

* Corresponding Author: pala@subu.edu.tr

1. Introduction

The imaging of medical samples is of great importance in the practice and conduct of diagnostic and therapeutic procedures in the clinic. For this purpose, the invention of systems that allow imaging at the micro level has brought revolutions in the medical field (Hooke 1665). Although there are many types of advanced microscopes today, the complexity of optical components, low spatial resolution, small field of view, and difficulty in focusing are among the main problems of optical microscopes (Greenbaum et al. 2012).

Micro-nano-level sensors, which have developed depending on semiconductor technology in recent years, have led to the emergence of systems known as lab-on-a-chip in the healthcare field. It has been successfully demonstrated in many studies that these revolutionary systems in the field of imaging perform micro-level imaging using simple materials (Mudanyali et al. 2009; Seo et al. 2009). Imaging with lens-less microscopy basically consists of the imaging sensor and the light source. The sample to be imaged is placed directly on the imaging sensor, taking into account the imaging principle, and is illuminated by the light source. The light source illuminating the medical samples creates density information with different coefficients on the imaging sensor and these data are recorded by the sensor. Charge-matched semiconductors (CCD) or complementary metal oxide semiconductors (CMOS) can be used as imaging sensors for this purpose (Greenbaum et al. 2012; Yang et al. 2019). However, CMOS sensors are more suitable for this method due to the compatibility in production technologies (Polytechnique and Lausanne 2014).

Lens-less micro-level imaging systems can be grouped under two general headings as contact-mode imaging and digital holographic imaging (Wu and Ozcan 2018). The first group, the contact-mode imaging method, is designed in such a way that the distance between the sample plane and the sensor plane is minimal. In this principle, it is aimed to collect information over the active region of the sensor plane so that the beams passing through the sample plane are exposed to less noise (Ji et al. 2007). In this method, the pixel size of the imaging sensor becomes an important parameter because the size of the pixels in the active region of the imaging sensor is reduced and the number of photons collected increases. The general structure of the lens-less imaging system is shown in Figure 1.

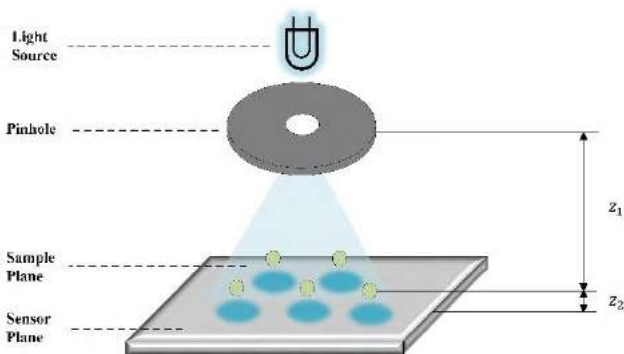


Figure 1. General structure of lens-less microscopy

Examination and analysis of medical images is very important for the execution of clinical processes. Traditional imaging
e-ISSN: 2148-2683

methods are difficult to integrate and consist of costly components. In addition, interpretation of the images obtained and obtaining fast results are very important for diagnosis and treatment processes (Boyraz et al. 2019; Çimen et al. 2019; Pala et al. 2019). In this study, a lens-less imaging system that can be used in medical imaging and can operate in real-time embedded system is designed. The contrast value of the images has been increased by applying various pre-processing methods. After all the pre-processing, the resolution value of the system was increased and the results were examined on the calibration chart and various tissue samples.

2. Material and Method

In this study, an embedded computer-based lens-less microscopy system that allows real-time imaging of medical samples is designed. In order to improve the SNR and contrast value of the images obtained from the imaging system, real-time flat field correction was applied to the images, and then the spatial resolution of the images was increased by interpolation methods.

2.1. Lens-less Imaging System Parameters

SONY IMX219 PQ imaging sensor was used to obtain images of medical samples. The sensor has a square pixel size of $1.12 \mu\text{m}$, the active pixel region has approximately 10 mm^2 areas. Therefore, it provides a field of view of 10 mm^2 sizes of tissues. This size provides approximately 2 times larger field of view than optical microscopes with 10x lens. The imaging sensor used produces density information at different rates according to the wavelengths of the lights falling on the sensor. The imaging sensor used in the system design gives a maximum intensity response of 95.85% at 600 nm red light, 99.26% at 520 nm green light, and 80.51% at 460 nm blue light. There is a distance of $100 \mu\text{m}$ between the imaging sensor and the sample plane, and 5 cm between the sample plane and the pinhole.

While selecting the LED source for the imaging system, the wavelength at which the sensor responds to the maximum was taken into account. A 3W LED source with two different peak wavelengths is used in the system. The LED source with wavelengths of 442 nm and 590 nm also radiates at the wavelength at which the sensor gives maximum response. In order to keep the LED source stable, a constant current source with 350mA output is used. The LED source part is placed 1 cm away from the pinhole light source with a diameter of $150 \mu\text{m}$ in order to become partially coherent. Therefore, it is aimed to reduce light-induced diffraction in images. The designed imaging system is shown in Figure 2.

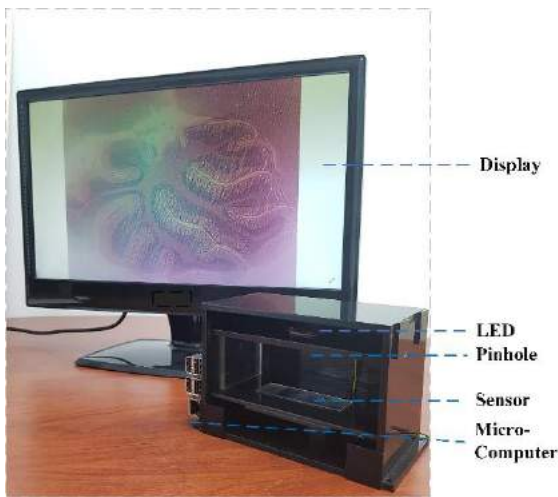


Figure 2. The designed imaging system

2.2. Image Pre-Processing

Various distortions and noises occur in the images obtained by the microscopy system due to the light source and the imaging sensor. In addition, speckle noise occurs in images from imaging sensor sources. In order to minimize these effects and to eliminate uneven illumination on the sample, dynamic flat field correction was applied to the images in real time. The flat field correction method is a method designed to eliminate the dark currents and gain sources problems on the images. In the study, images obtained in RGB space were first converted to HSV space, corrected in this space, and then displayed on the output screen by applying cubic interpolation to the images. Mathematical relation of flat field correction is given in Equation 1

$$I_H(x, y, z) = \frac{(I_R(x, y, z) - I_D(x, y))(M)}{I_B(x, y) - I_D(x, y)} \quad (1)$$

In the equation, $I_H(x, y, z)$ is the corrected image, $I_R(x, y, z)$ is the raw image, $I_D(x, y)$ is the dark image, M is the average pixel value of the corrected flat field image, and $I_B(x, y)$ is the bright image.

2.3. Calibration of the System

Before the images of the pathological samples were obtained with the produced system, pixel density analyzes were carried out with a linear calibration bar with 5 μm spacing. With this method, the ability of the imaging system to distinguish between the background and the object has been demonstrated. Images and density analyzes of the calibration chart are given in Figure 3.

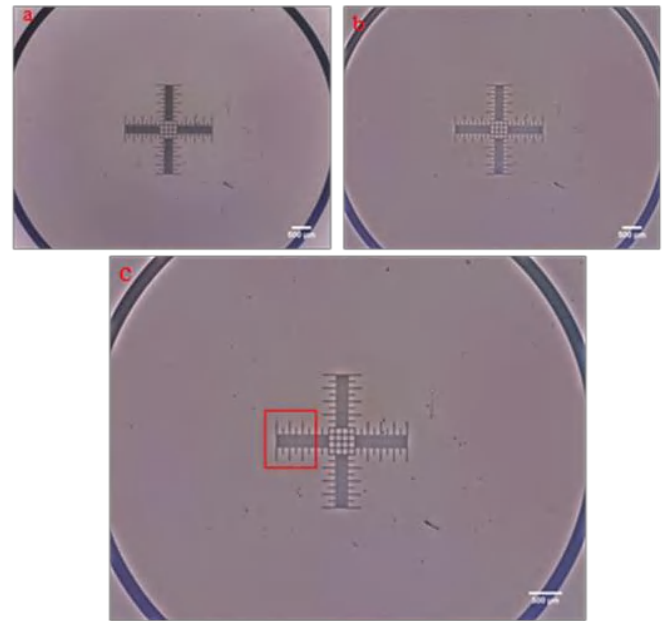


Figure 3 Image obtained with the calibration chart a) Raw image of the chart. b) Image with flat field correction applied. c) Cubic interpolated image. (Calibration line 500 μm)

In Figure 4, the pixel density values of the calibration slide obtained before and after the actual pre-processing steps are given.

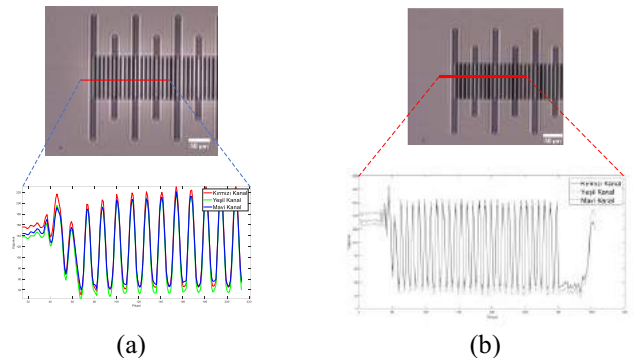


Figure 4. Selected ROI from Figure 3-(c) and pixel density plots. a) Intensity values before pre-processing, b) Intensity values after pre-processing

The maximum, minimum and difference values of the calibration slide, whose pixel intensity graphs are given in Figure 4, are given before and after pre-processing of the intensity values in Table 1. As can be seen from the table, the applied methods have increased the selectivity value between the background and the object, and thus the resolution of the imaging system has increased.

Table 1. Pixel intensity data obtained before and after the applied processes

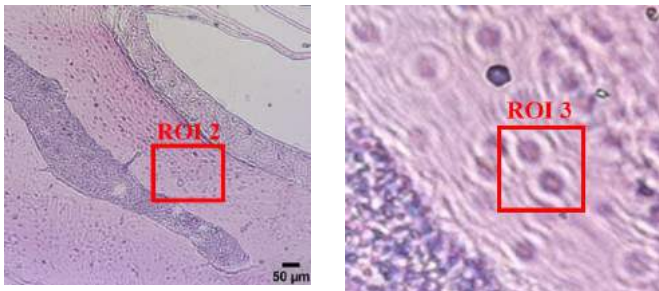
	Channel	Max.	Min.	Difference
Before Pre-Processing	R	161	34	127
	B	154	35	119
	G	158	22	136
After Pre-Processing	R	205	41	164
	B	199	48	151
	G	192	33	159

2.3. Medical Imaging

Real-time image of various tissue samples stained with haematoxylin-eosin dye is given in Figure 5. The viewing area is approximately 10 mm^2 . Scale bars representing $200 \mu\text{m}$ size are placed in the lower right part of all images. The selected ROI 1 is given in Figure 5-a and the image of ROI 2 is given in Figure 5-b. Nuclei structures are concentrated in the randomly selected region.



(a)



(b)

(c)

Figure 5. Image obtained from tissue sample, a) Image of whole slide b) Image of ROI 1, c) Image to ROI 2

The selected ROI 3 image is given in Figure 6. In this region, there are two different core structures with radius sizes of $2.50 \mu\text{m}$ and $2.30 \mu\text{m}$. The distance between the two cores is $2.10 \mu\text{m}$ and all imaging system can be resolved.

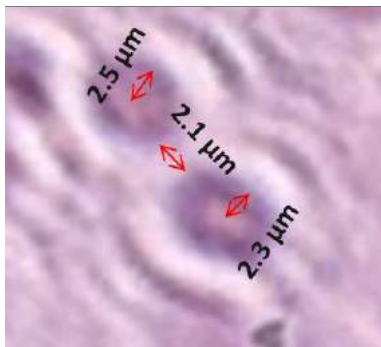


Figure 6. ROI 3 and radius information.

In Figure 7, the linear density graph of the nuclei structures in Figure 6 is given in the green color channel. The centre of two

different nuclei can be easily resolved with the help of imaging system.

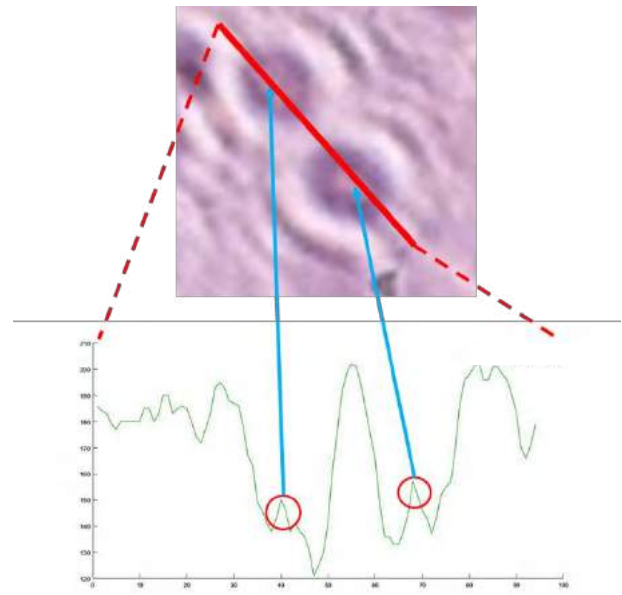


Figure 7. Nuclei structures and linear pixel density plot

3. CONCLUSION

Lab-on-a-chip systems are increasing in usage day by day due to the various advantages such as low cost and integration. It is foreseen that these systems will gain more importance and reach a wider usage area in the near future. In this study, it is aimed that all the applied methods can work in an embedded system in real time. The success of the imaging system was demonstrated with a calibration chart and its suitability for medical imaging was demonstrated with tissue samples. Cost, spatial resolution and speed are kept at the optimum level in the produced imaging system. The produced imaging system, with its design and imaging strategies, is capable of providing convenience and a different perspective to clinical studies.

5. Acknowledge

This work was supported by Sakarya University of Applied Science Scientific Research Projects Coordination Unit (SUBU BAPK, Project Number: 2020-01-01-011). The author, Muhammed Ali PALA, is grateful to The Scientific and Technological Research Council of Turkey for granting a scholarship (TUBITAK, 2211-C) for him Ph.D. studies.

References

- Boyraz, Ömer Faruk, Muhammed Ali Pala, and Murat Erhan Çimen. 2019. "Mikrobilgisayar Tabanlı El- Bilek Damar Örüntüleri Kullanılarak Biyometrik Kimlik Doğrulama İşleminin Yapılması." *Academic Perspective Procedia* 2019(November): 593–600.
- Çimen, Murat Erhan et al. 2019. "Modelling of Chaotic Motion Video with Artificial Neural Networks." *CHAOS THEORY AND APPLICATIONS* 1(1): 38–50.
- Greenbaum, Alon et al. 2012. "Imaging without Lenses: Achievements and Remaining Challenges of Wide-Field

- on-Chip Microscopy.” *Nature Methods* 9(9): 889–95.
- Hooke, Robert. 1665. *Micrographia by Robert Hooke, 1665*. The British Library.
- Ji, Honghao, David Sander, Alfred Haas, and Pamela A. Abshire. 2007. “Contact Imaging: Simulation and Experiment.” *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 54(8): 1698–1710.
- Mudanyali, Onur et al. 2009. “Lensless On-Chip Imaging of Cells Provides a New Tool for High-Throughput Cell-Biology and Medical Diagnostics.” *Journal of Visualized Experiments*.
- Pala, Muhammed Ali et al. 2019. “Meme Kanserinin Teşhis Edilmesinde Karar Ağacı Ve KNN Algoritmalarının Karşılaştırmalı Başarım Analizi.” *Academic Perspective Procedia* 2(3): 544–52.
- Polytechnique, Cole, and Rale D E Lausanne. 2014. “Design and Implementation of CMOS Image Sensors for Biomedical Applications.” 6229.
- Seo, Sungkyu et al. 2009. “Lensfree Holographic Imaging for On-Chip Cytometry and Diagnostics.” *Lab on a chip* 9(6): 777–87.
- Wu, Yichen, and Aydogan Ozcan. 2018. “Lensless Digital Holographic Microscopy and Its Applications in Biomedicine and Environmental Monitoring.” *Methods* 136: 4–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymeth.2017.08.013> (February 7, 2019).
- Yang, Ke et al. 2019. “Recent Development of Portable Imaging Platforms for Cell-Based Assays.” *Biosensors and Bioelectronics* 124–125(October 2018): 150–60. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.10.024>.



Kent Parklarında Kullanıcı Tercihlerinin Değerlendirilmesi “Kyoto Japon Parkı ve Kalehan-Ecdat Parkı” Örneği

Sertaç Güngör^{1*}, Mine Çakın²

^{1*} Selçuk University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape Architecture, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2703-9557), sertac@selcuk.edu.tr

² Selcuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences M.Sc. Student, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5075-4386), minecakn@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1000190)

ATIF/REFERENCE: Güngör, S., & Çakın, M. (2021). Kent Parklarında Kullanıcı Tercihlerinin Değerlendirilmesi “Kyoto Japon Parkı ve Kalehan-Ecdat Parkı” Örneği. European Journal of Science and Technology, (28), 362-367.

Öz

Kent içinde bireylere dinlenme ve gezme olanağı veren mekanlar olan kent parkları, bireyleri yaşamın getirdiği stres ve bıkkınlıktan uzaklaştıran yeşil alanlar olarak tanımlanabilir. Sürekli artan nüfus, günümüzün tartışılmaz gerçeği olan küresel ısınma, kentleşme, çevre kirliliği gibi etkenler nedeniyle doğal alanlara olan ihtiyacın artmasıyla kent parkları günümüzde daha da çok tercih edilmektedir. 2021 yılına damga vuran Covid-19 pandemisi yüzünden yaşanan sokağa çıkma yasakları ve kısıtlama süreçleri nedeniyle evlerde kapalı kalan bireyler parklara özlemi fazlasıyla hissetmişlerdir. Araştırmanın amacı, adı geçen parklarda kullanıcı tercihlerinin değerlendirilmesi ve bu tercihleri etkileyen faktörlerin tespit edilmesidir. Kullanıcı tercihleri anketi, gönüllülük esasına dayanarak ve pandemi hijyen koşullarına uygun olarak 78 (26 erkek ve 52 kadın) parkları bilen ziyaretçilere uygulanmıştır. Araştırma bulgularına göre kullanıcıların parkta daha çok yaz aylarında, öğle ve akşam saatlerinde 30 dk'dan fazla sürede ve hafta sonu zaman geçirdikleri tespit edilmiştir. Anket katılan kullanıcıların en yüksek oranda arkadaşları veya aileleri ile parklara gittikleri saptanmıştır. Kullanıcılar daha yoğun olarak boş vakitlerinde dinlenmek ve gezmek için Kalehan-Ecdat Parkı'nı tercih etmektedir. Kyoto Japon Parkı'nda bitkisel tasarım, kent mobilyaları ve manzara güzelliği bakımından ön plana çıkmışken, Kalehan-Ecdat Parkında kolay ulaşılabilir olması, otopark sorunu olmaması, aydınlatma elemanları ve yapay göl alanından dolayı ön plana çıkmıştır. Kullanıcılar Kalehan-Ecdat Parkı'nı Kyoto Japon Parkı'na göre daha gürültülü bulmaktadırlar.

Anahtar Kelimeler: Kent parkı, Kullanıcı tercihi, Konya, Peyzaj, Kalehan-Ecdat ve Japon parkı.

Evaluation of User Preferences in Urban Parks “The Case of Kyoto Japan Park and Kalehan-Ecdat” Park

Abstract

Urban parks, which are places that allow individuals to relax and visit in the city, can be defined as green spaces that remove individuals from the stresses and frustrations of life. Urban parks are more preferred today due to the ever-increasing population, the indisputable reality of today, global warming, urbanization, environmental pollution, and the need for natural areas. Due to the curfews and restriction processes experienced due to the Covid-19 pandemic that marked 2021, individuals who were confined to their homes felt a great longing for parks. The aim of the research is to evaluate user preferences in the mentioned parks and to identify the factors affecting these preferences. The user preferences survey was applied to visitors who knew 78 (26 males and 52 female) parks on a voluntary basis and in accordance with pandemic hygiene conditions. According to the research findings, users spent more than 30 minutes in the park during the summer months, lunch and evening hours, and at the weekend. The highest proportion of respondents were found to go to parks with friends or family. Users prefer Kalehan-Ecdat Park to relax and travel more intensively in their free time. While Kyoto Japan Park has come to the forefront in terms of herbal design, urban furniture and landscape beauty, kalehan-ecdat park has come to the forefront due to its easy access, lack of parking problems, lighting elements and artificial lake area. Users find Kalehan-Ecdat Park louder than Kyoto Japan Park.

Keywords: Urban park, User preferences, Konya, Landscape, Kalehan-Ecdat and Japon Park.

* Corresponding Author: sertac@selcuk.edu.tr

1. Giriş

Kamusal alanları barındıran ve kamusal yaşam biçimiyle kentler şekillenir. Tarih boyunca kent kavramı gelişim göstermiştir (Çınar, 2008). Kent içinde yaşayan bireyler mesai saatlerindeki azalma gelirlerdeki artma ile rekreasyona daha fazla imkân bulmakta burada doğa içinde gerçekleştirilmektedirler. Rekreasyon gereksiniminde değerlendirilecek etkinlikler kentin imkanlarına ve sosyo-ekonomik gereklerine göre şekillenmektedirler. Rekreasyon imkanları fazla olan kentler yerleşim için ön plana çıkmakta ve çevresel açıdan da zengin olmaktadır (Özkır, 2007).

Artan nüfus kentlerin kontrolsüz, plansız büyümelerine, açık yeşil alanların azalmasına ve çevre sorunlarının artmasına neden olmuştur (Başalma, Uslu ve Körmeçli, 2017). İnsanların artan nüfus, kent içindeki karmaşa ve diğer olumsuz etkilerden kurtulmalarına katkı sağlayan kent parklarının önemi giderek artmaktadır.

Kent içinde bulunan park alanları toplumun stres attığı, mutlu olduğu ve sedanter birey olmaktan uzaklaştığı (fiziksel hareket ettiği) yerlerdir. Park alanları gerek mikroklima etkileri gerekse rekreasyon olanakları ile de ön plana çıkan yeşil alanlardır (Çetinkaya, Erman ve Uzun, 2015).

İnsan oğlunun geçirdiği dönemler boyunca kent parklarının kullanım şekilleri ve fonksiyonları değişikliğe uğramıştır. Özellikle günümüzde tecrit edilmiş yeşil alanlar olmaktan çok kullanımları çeşitli ve yeşil altyapının bir parçası olarak tanımlanmışlardır (Gürer ve Uğurlar, 2017).

Toplumda yaşayan bireylerin yoğun iş temposundan kaçıp rekreasyon imkanlarından yararlandığı yerler Kent Parkları olarak isimlendirilir (Zaloğlu, 2006).

Kent parkları özelinde bireyler stres atma ve dinlenme ihtiyaçlarını karşılamakta, yaşam kalitelerini arttırmaktadırlar. Yapısal bir alanda hapis kalan bireyler kent parkları ile nefes alabilmekte ve hareket edebilmektedirler. Parkların sahip olduğu sosyaltieser/imkanlar, parkın lokasyonu ve ulaşılabilir olması kullanıcı memnuniyeti açısından önemlidir (Asımgil, 2012).

Kent parklarının kalite açısından yorumlanmasında farklı kriterler vardır gönüllülük esasına dayanan anket yöntemi kullanıcı memnuniyeti tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Anketler, kent parklarının daha fonksiyonel tasarlanması ve planlanması bakımlarından değil aynı zamanda parkı kullanan yöre insanının ihtiyaçlarının belirlenmesi/karşlanması, parkların fonksiyonlarını eksiksiz olarak devam edebilmesi için de önemli bir kaynaktır (Sağır ve Önal, 2018).

Bir kent parkının kullanıcı/katılımcı tarafından tercih edilmesi için ulaşım imkanlarının kolay olması, ikili ilişkilere imkân vermesi, tüm yaş grupları için aktivite içermesi, güvenlik-temizlik-bakım konularında sorunlar içermemesi ve cazip tasarım kompozisyonları içermesi gerekmektedir (Özkır, 2007).

Bütüncül tasarım yaklaşımı için park kullanıcılarının istekleri ve beklentileri parkların oluşum sürecinde mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır (Polat, 2012).

Yerel yönetimlerin gerek sosyal medya üzerinden gerekse anketlerle parkın memnuniyet durumunu ölçmeleri gerekir. Yapılacak bu araştırmalarla parkların eksiklikleri/yetersizlikleri belirlenerek önleme/düzeltilme tedbirleri alınabilir (Önal ve Sağır 2018).

Araştırmanın amacı, kullanıcıların parklarla ilgili görüşleri alınarak anket sonuçları doğrultusunda kent sakinlerinin parkı kullanma sıklığı, hangi parkı tercih ettikleri, parklardaki mevcut donatı elemanlarının yeterliliği, parkın hangi kesime hitap ettiği ve parktaki mevcut su ögesinin, bitkisel tasarımın ve manzara güzelliğinin yeterliliğinin belirlenmesidir. Gelecekte yapılması planlanan kent parklarının tasarlanmasında ve planlanmasında bu araştırmada elde edilen verilerin yardımcı olması hedeflenmiştir. Ayrıca kullanıcı memnuniyetinin değerlendirilmesi ve farklı olarak tasarlanan parkların karşılaştırılması bunun sonucunda da kullanıcı tercihlerinin belirlenmesinde hedeflenmiştir.

Kentsel açık yeşil alanlar, insanların yoğun iş hayatının stresinden, kalabalık şehirlerin gürültüsünden bir nebze de olsa uzaklaşabileceği alanlar olarak hayatımızda büyük önem taşımaktadır. Bu alanlar da gerek tasarımlarıyla gerek ulaşım kolaylığı gibi farklı nedenlerle tercih edilmektedir.

Beğenen kullanıcı parkı “tercih” eder. Böylelikle alanın kalitesi tespit edilebilir. Bunun en doğru yoluda uzman olmasalar bile kullanıcılarla yüzyüze/uzaktan görüşme/anket uygulamasıdır (Çakıcı ve Çelem, 2008).

Bu yaklaşım ile kullanıcı tercihlerinin değerlendirilmesi Konya ili Selçuklu ilçesinde bulunan Kyoto Japon Parkı ve Kalehan-Ecdat Parkı temelinde ele alınmıştır.

1.1. Kent Parkları

Parklar; kentsel doku alanı dışında kalan farklı kullanım potansiyelleri bulunan, tasarımcılar eliyle oluşturulmuş alanların genel adıdır. Bu alanlarda mimari unsurlar minimum yeşil alanlar maksimum olanlar peyzaj alanlarıdır (Elinç ve Polat, 2011). Kentsel doku içindeki parklar, gerek estetik yönden gerekse sessizlikleriyle insanlara güzel duygular yaşatırlar. Farklı yaş grupları için aktivite alanları oluşturarak toplumsal yaşam gerekliliklerini sağlarlar (Işık, Kablan, Sayitoğlu, Nasin ve Odacı, 2017).

Parklar, her yaştan bireyin kullanımına açık, mekân alanı belirlenmiş, tasarımcı tarafından şekillendirilmiş açık alanlardır (Elinç ve Polat, 2011).

Kentte yaşayan bir birey olmanın yüklediği stresi atan mekanlardır. Farklı gelir seviyelerinden bireyleri bir araya getirebilirler. Mikro klima yaratma ve çevre koruma konularında önemleri her geçen gün artmaktadır (Onsekiz ve Emür, 2008).

Kentte yaşayan kullanıcıların ulaşım güclüğü çekmeden erişebilecekleri, farklı rekreasyon faaliyetlerinde bulunabilecekleri alanlar “kent parkları”dır (Özkır, 2007).

Açık yeşil alan sistemine dahil olan sosyo-ekonomik özellikler içeren kent estetiğine katkı veren, kent için çok olumlu katkıları olanlardır (Onsekiz ve Emür, 2008).

Kent parkları, kentte yaşayan kullanıcılara aktif faydalar sağlayan mekanlardır (Surat, 2017).

Kent parkları, bireylerin kent içinde yaşamının getirdiği günlük koşuşturmacadan kaçabilecekleri, sosyalleşebilecekleri farklı fonksiyonları ile bireylere yaşam enerjisi veren yeşil dokuya sahip mekanlardır ve herkes tarafından bilinen temel özellikleri ile (iklim iyileştirme, hava temizleme, gürültü azaltma, vb.) önemleri ortaya çıkmaktadır (Wong ve Domroes, 2005).

Kent parkları farklılaşan fonksiyonel kullanım alanları arasında tampon ve bağlayıcı işlev görürler. Kentin hava sirkülasyonu ihtiyacına katkıda bulunarak, mikroklima özelliği oluştururlar. Tampon özelliğine bağlı olarak, gürültüyü absorbe ederler ve içinde barındırdıkları etkinlik ve hareketlilik özelliklerine göre insanların rekreasyon gereksinimlerini karşılarlar. (Onsekiz ve Emür, 2008).

Kent parkının kullanıcılar için rahat ve huzur veren bir dinlenme ortamı olması plan karakteri ve yapılan tasarımla doğrudan ilişkilidir (Özdemir ve Polat, 2013).

Kent parkları, park türleri içerisinde sahip oldukları işlevlerine görece kent düzeyinde hizmet vermesi öngörülen parklardır. Parkın planlanmasında ise yere ve yerleşiklere özgü özelliklerin göz önünde bulundurulması, kent parklarının işlevselliğinin sağlanması açısından önemlidir. Park içinde yer alan kullanımların ve etkinliklerinin niteliğini, tasarım kuralları, kullanıcı tercihleri ve kente özgü sosyo-kültürel, iklimsel ve coğrafik özellikler belirlemektedir (Onsekiz ve Emür, 2008).

Kent parkları, her 100 kişi için 1 dekar olmak üzere, nüfusun büyüklüğüne göre, 40-400 ha arasında olmalıdır. Kent parkı etki alanı 3.200-4.000 m arasındadır. Bu parkların kentsel yerleşim birimlerine yakın ya da uzak olması önemli bir tasarım kriteri değildir. Bu alanlar en az 2-4 km, 30-60 dakikalık yürüme mesafesinde, toplu ulaşım sistemi ile doğrudan ve kolayca ulaşılacak mesafede 5-20 km uzaklıkta bulunmalıdır (Elinç ve Polat, 2011). Kent parkları içerisinde yürüyüş ve koşu yolları, gölet veya spor alanları, piknik alanları, spor kompleksleri, amfi tiyatro, seyir kulesi, restoran, oturma grupları, çocuk oyun aletleri bulunan ve bireylerin tek başına yada grup olarak etkinlikler düzenlenmesine fırsat sağlayan, bitki materyalleri ile bir bütünlük arz eden, eğitici, kaynaştırıcı özellikleri taşıyan düzenli ve planlı olarak tasarlanmış yeşil alanlardır (Özdemir, 2012).

Bir parkın kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Bir parkın bütçesi, bakımı, tasarımı, düzenlemesi, parkta yer alan fiziksel durumlar ve suç aktiviteleri, kullanıcıların park alanları ile ilgili düşünceleri, park kalitesini etkiler. Parkın fiziksel durumu, algılamaların şekillenmesinde ve park içerisinde oluşabilecek suçun devam ettirilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Bakımsız ekipmanlar ve çöplerin birikmesi, parkın potansiyel kullanıcıları üzerinde negatif fikirler oluşturarak parkın başarısını önemli derecede azaltabilir. İnsanlar, kötü ekipmanları ve çöpü, kendilerinin veya çocuklarının fiziksel güvenliğini tehdit eden durumlar olarak görebilirler (Önal, 2007).

Kalite algısı yüksek park alanları tasarlayabilmek için park tek başına değil çevresiyle beraber ele alınmalıdır. Her yaşta kullanıcı için uygun tasarım kararları verilmelidir. Kalite faktörleri doğru tasarlanmalıdır. Ancak, doğru yer seçimi, doğru planlama, doğru tasarım, doğru uygulama ve doğru bakım standartlarının yakalanması ile kent insanlarına kullanabilecekleri kalite kent parkı çevreleri oluşturulabilecektir (Onsekiz ve Emür, 2008).

1.2. Kent Parkları ile İlgili Kalite Kriterleri

Yaşam kalitesi ve kalite kriterleri ile ilgili faktörler, kentlere ya da kültürle göre değişebilir ve evrensel değildir. Fakat hepsinin temeli sürdürülebilirliğe dayanır. Kent içerisinde önemli yere sahip olan kent parkları, sürdürülebilir özellik taşırsa o parkın kaliteli olduğuna işaret eder. Oluşan kaliteli ve

sürdürülebilirlikle de kente ve insana en üst düzeyde fayda sağlanabilir (Karadeniz, 2019).

Doğru tasarlanmış bir kent parkı kullanıcılar için hayal güçlerini geliştirecek bireysel yada grup halinde dahil olabilecekleri farklı kullanımlar sağlamalı, park ulaşılabilir olmalı, güvenlik zafiyeti olmamalı, kent mobilyaları ve bitkisel peyzaj alanları bakımlı ve sağlam olmalı, her yaş grubuna ve fiziksel yapıya sahip bireye parkı kullanma olanağı vermelidir (Yücel ve Yıldızcı, 2006). Kent parkı kalite kriterleri aşağıdaki gibidir;

Aktivite ve kullanımlar: Park alanı her yaş grubuna hitap etmeli ve onların ihtiyacına uygun aktiviteleri barındırmalıdır (Özkır, 2007). Pek çok farklı aktiviteyi bünyesinde taşımalıdır. Farklı yaşlarda kullanıcılar alana farklı anlamlar yükler ve farklı beklentiler içerisinde olurlar bu yüzden parklar her yaş grubuna hitap etmelidir (Yücel ve Yıldızcı, 2006).

Ulaşılabilirlik: Park alanına kent içindeki farklı ulaşım vasıtalarıyla gidilebilmelidir, ayrıca park içinde oryantasyon rahat olmalıdır. Park alanlarına yaya, özel oto, bisiklet veya otobüs gibi değişik ulaşım araçlarıyla ulaşımın sağlanması gerekir. Oryantasyon için park planının karmaşık olmaması gerekir. Döşeme farklılıkları ve bitkisel kompozisyonda değişimler gibi unsurlarla bu yaratılabilir (Yücel ve Yıldızcı, 2006).

Konfor ve İmaj: Güvenlik/bakım/sıhhi tesisler gibi kullanımlar park konforunun/imağının oluşumu için önemlidir (Yücel ve Yıldızcı, 2006). Kullanıcıların zarar görmesine olanak vermeyecek, güvenli/temiz bir ortamda aktiviteler imkân sağlamalıdır (Konakoğlu ve Bekar, 2021).

Kent parklarında yaşayan faunanın ve yaşam ortamı oluşturan floranın zarar görmemesi gerekir (Özkır, 2007). Parkta güvenlik açığı oluşmaması için aktivitelerce zengin hale getirilmeli ıssız bırakılmamalıdır (Yücel ve Yıldızcı, 2006).

Bakım ve temizlik, parkın kullanıcılar tarafından tercih edilebilmesindeki en önemli kalite kriterlerinden bir tanesidir. Kent parkı içindeki mobilyaların bakımı/yenilenmesi, atıkların alandan uzaklaştırılması ve yeşil alanların bakımlarının yapılması önemlidir. Park alanına göre uygun sayıda personel bulundurulmalıdır (Karadeniz, 2019).

Sosyallik: Toplumlar için olmazsa olmaz bir bileşendir. Aynı yada farklı yaş grupları bir araya gelerek yeni ilişkiler/bağlantılar kurarlar ve yabancılarla rahatça tanışır. Bu sayede mekâna karşı aidiyet hisleri artar (Yücel ve Yıldızcı, 2006).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, kent parklarında kullanıcı tercihlerinin belirlenmesi için Konya ili Selçuklu bölgesinde Kalehan-Ecdad Parkı ve Kyoto Japon Parkı ana materyal olarak seçilmiş ve bu parklar özelinde yürütülmüştür.

Selçuklu ilçesinde bu park alanlarının seçilme nedenleri, yapısal ve bitkisel yoğunluk olarak geniş alan kaplamaları, yerel halk tarafından kent içinde rekreasyon amaçlı yoğun olarak tercih ediliyor olmaları ve Konya ilinde farklı sosyokültürel yapıdaki bireylere hitap ediyor olmasıdır.

2.2. Metod

Araştırmada gönüllülük esasına göre anket yapılmıştır. Anket soruları Google formlar ile hazırlanmış olup kişisel bilgiler ve kullanıcı tercihleri ile ilgili sorular olmak üzere 2 bölümden oluşmuştur. Covid-19 pandemi şartlar nedeniyle anketler sosyal medya üzerinden yapılmıştır. Parkı daha önce ziyaret etmiş rastgele 78 kişiye anket soruları sorulmuştur. Anket linki Facebook ve İnstagramda Konya, Japon Parkı ve Kalehan-Ecdat Parkı sayfalarında ve yazarların kişisel hesaplarında konu hakkında bilgi verilerek paylaşılmıştır. Anket yapılacak toplam kişi sayısı Güngör 2019'a göre seçilmiş ve uygulanmıştır.

2.2.2 Kyoto Japon Parkı

Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından 2010 yılında hizmete sunulan ve 36 bin metrekarelik alanıyla Türkiye'nin en büyük Japon Bahçesi olan Konya Japon Parkı, Konya ile Kyoto arasında kardeşlik ilişkilerinin geliştirilmesi amacıyla yaptırılmıştır. Ortada bir göl ve çevresinde yürüme yolu bulunmaktadır. Gölde de Japon balıkları mevcuttur ve göl üzerinden geçen taş ve ahşap köprülerden bu balıkları

izleyebilme imkanı vardır. Japon mimarisine uygun olarak yapılan parkta göletler, peyzaj düzenlemeleri, taş ve ahşap köprüler, Japon bitkileri, bambu su oyunları dikkat çekerken; Japon kültürüne uygun ikramların yapıldığı kafeterya da büyük ilgi görmektedir (Aylan ve Şalvarcı, 2018).

2.2.2 Kalehan-Ecdat Parkı

Kalehan-Ecdat bahçesi Konya ili Selçuklu ilçesi Yazır Mahallesi'nde yer alan bir kent parkıdır. Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından Otogar ve Yeni Büyükşehir Stadyumu bölgesine kazandırılan 110 bin metrekarelik bir parktır.

Parkın içinde 12 bin 500 metrekare gölet ile etrafında kale burçları ve surlar, Osmanlı Sokağı, Boğaz Yalısı, Hasbahçe, Selçuklu Hanı Konya Mutfağı, kamelyalar ve sosyal donatılar bulunmaktadır. Selçuklu hanının restoran olarak hizmet vereceği, kamelyalar ve sosyal donatıların da yer aldığı parkın göletinde ise kayıklarla gezinti yapılabilmektedir. Zırh ve kalkanyla Osmanlı askerini canlandıran iki görevlinin nöbet beklediği kapıdan giren ziyaretçilere, parkta Yeniçeriler ile atlı Selçuklu askerleri eşlik etmektedir (Anonim 2019)

Tablo 1. Kalehan-Ecdat Parkı ve Kyoto Japon Parkı kullanıcı görüşleri

	Kesinlikle Evet		Evet		Kararsızım		Hayır		Kesinlikle Hayır	
	Kişi sayısı (n)		Kişi sayısı (n)		Kişi sayısı (n)		Kişi sayısı (n)		Kişi sayısı (n)	
	Kalehan Ecdat Parkı	Kyoto Japon Parkı	Kalehan Ecdat Parkı	Kyoto Japon Parkı	Kalehan Ecdat Parkı	Kyoto Japon Parkı	Kalehan Ecdat Parkı	Kyoto Japon Parkı	Kalehan Ecdat Parkı	Kyoto Japon Parkı
Bitkisel tasarımını yeterli mi?	21	31	17	36	19	5	15	6	7	1
Çöp kutularını yeterli mi?	18	15	31	44	19	15	9	7	2	0
Oturma elemanlarını (Bank, kamelya vb.) yeterli mi?	21	13	20	31	16	19	17	14	5	1
Aydınlatma elemanlarını yeterli mi?	26	18	33	37	15	16	3	8	1	0
Otopark sayısını yeterli mi?	17	9	21	18	24	17	12	22	4	12
Parkta kendinizi güvende hissediyor musunuz?	27	22	36	41	13	11	1	4	3	1
Manzara güzelliğini yeterli mi?	25	23	29	38	11	10	9	6	5	1
Parka kolay ulaşabiliyor musunuz?	33	27	32	35	9	9	5	7	0	1
Bakım çalışmalarını yeterli mi?	28	21	30	34	14	14	4	8	2	2
Parkın büyüklüğünü yeterli mi?	39	20	32	27	6	15	1	11	0	6
Su öğesini yeterli mi?	34	22	28	31	13	15	4	9	3	3
Gürültü seviyesinin fazla olduğunu düşünüyor musunuz?	23	16	19	17	13	21	20	23	7	3

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Katılımcıların Kişisel Bilgileri

Ankete katılan park kullanıcılarının % 33'ü erkek (26 kişi), % 67'si kadındır (52 kişi). Katılımcıların, %5'i 18 yaş altı (4 kişi), %31'i 18-25 yaş arası (24 kişi), %42'si 26-35 yaş arası (33 kişi), %17'si 36-45 yaş arası (13 kişi), %4'ü 46-55 yaş arası (3 kişi), %1'i 65 yaş üstü (1 kişi) yaş aralığındadır. 56-65 yaş aralığında katılım olmamıştır. Eğitimleri incelendiğinde katılımcıların %1'i okur-yazar (1 kişi), %4'ü ilköğretim (3 kişi), %8'i ortaokul (6 kişi), %14'ü önlisans (11 kişi), %46'sı lisans (36 kişi) ve %27'si lisansüstü (21 kişi) olduğu görülmektedir. Çalışmada katılımcıların, 17'si devlet memuru (%22), 5'i işçi (%6), 3'ü esnaf (%4), 15'i ev hanımı (%19), 24'ü öğrenci (%31) ve 14'ü diğer (%18) seçeneğini işaretlemiştir.

3.1. Katılımcı Tercihleri

Katılımcılara 'Boş vakitlerinizde dinlenmek ve gezmek için Kyoto Japon Parkı ve Kalehan Ecdat Parklarından en çok hangisini tercih edersiniz?' diye sorulduğunda %38'i Kyoto Japon Parkı (31 kişi), %56'sı Kalehan Ecdat Parkı (44 kişi) ve %4'ü diğer (3 kişi) seçeneğini işaretlemiştir. Ankete katılanlara parkları (Kyoto Japon Parkı, Kalehan Ecdat Parkı) hangi saatlerde kullandıkları sorulduğunda; %9'u sabah (7 kişi), %45'i öğle (35 kişi), %46'sı akşam (36 kişi) cevabını vermiştir. Katılımcılara parkta (Kyoto Japon Parkı, Kalehan Ecdat Parkı) geçirdikleri zaman sorulduğunda; %1'i 15 dk (1 kişi), %6'sı 30 dk'dan az (5 kişi), %45'i 30-60 dk (35 kişi), %47'si 1 saatten fazla (37 kişi) cevabını vermiştir. Parka en sık gelinecek mevsim sorulduğunda; katılımcıların 23'ü ilkbahar (%29), 51'i yaz (%65), 2'si sonbahar (%3) ve 2'si kış (%3) cevabını vermiştir. Katılımcılara parka en sık geldikleri gün sorulduğunda; 24'ü

haftaiçi (%31), 54'ü haftasonu (%69) cevabını vermiştir. Ankete katılanlara parkta kiminle/kimlerle vakit geçirdiği sorulduğunda; 3'ü tek başına (%4), 38'i arkadaşlarla (%49), 33'ü aile ile (%42) ve 4'ü diğer (%5) seçeneğini işaretlemiştir. Katılımcılara 'Kyoto Japon Parkı aşağıdaki kullanıcılardan hangisine hitap ediyor?' diye sorulduğunda; %6'sı yaşlılar (5 kişi), %3'ü çocuklar (2 kişi), %22'si gençler (17 kişi) ve %69'u hepsi (54 kişi) seçeneğini işaretlemiştir. Engelliler seçeneğine işaretleme yapılmamıştır. Ankete katılan kullanıcılara 'Kalehan Ecdat Parkı aşağıdaki kullanıcılardan hangisine hitap ediyor?' diye sorulduğunda; %5'i yaşlılar (4 kişi), %3'ü çocuklar (2 kişi), %6'sı gençler (5 kişi) ve %86'u hepsi (67 kişi) seçeneğini işaretlemiştir. Engelliler seçeneğine işaretleme yapılmamıştır. Anketin son kısmında kullanıcılara likert tipi sorular sorularak, alandaki bitkisel tasarım, kent mobilyaları, bakım çalışmaları vb

4. Sonuç

Sosyal medya üzerinden Google anket uygulaması yardımıyla 26 erkek ve 52 kadın olmak üzere parkları kullanmış olana toplam 78 kişiye ulaşılmıştır. Anket sonucunda 26-35 yaş arası kullanıcı katılım sayısının daha yüksek olduğu ve 65 yaş üstü kullanıcıların parklardan daha az yararlandığı belirlenmiştir. Ankete katılan kullanıcıların büyük çoğunluğunun önlisans ve üstü eğitim seviyesine sahip olduğu ve kullanıcıların büyük çoğunluğunun öğrenci olduğu görülmektedir. Kullanıcıların boş vakitlerinde dinlemek ve gezmek için daha çok Kalehan-Ecdat Parkını tercih ettikleri belirlenmiştir. Parkları çoğunlukla öğle ve akşam saatlerinde ziyaret ettikleri ve 30 dk'dan fazla zaman geçirdikleri anlaşılmaktadır. Bu yüzden parklarda öğle ve akşam saatlerinde güvenliğin artırılması ve aydınlatmaların yeterliliği parkın tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Araştırmada en sık yaz aylarında, haftasonu parka gitmeyi tercih ettikleri ve büyük çoğunluğun aile ve arkadaşlarıyla zaman geçirdikleri saptanmıştır. İnsanlar haftaiçi okul ve iş yorgunluğunu stresini atmak için parkları tercih etmektedir. Kyoto Japon Parkı ve Kalehan-Ecdat Parkı'nın çoğunlukla herkese hitap ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Bitkisel tasarım olarak Kyoto Japon Parkı, Kalehan-Ecdat Parkı'ndan daha yeterli bulunmuştur. Fakat bitkisel tasarımın yeterli olması Kyoto Japon Parkını daha çok tercih edilen park yapmamıştır bunun sebebinin Kalehan-Ecdat Parkının daha kolay ulaşılabilir olduğu söylenebilir. Araştırma sonucunda çöp kutuları ve oturma elemanları Kyoto Japon Parkında yeterli olduğu anlaşılrken aydınlatma elemanları ve otopark sayısı Kalehan-Ecdat Parkında yeterli bulunmuştur. Kyoto Japon Parkı hem kolay ulaşılabilir olmaması hem de otopark sayısının yetersiz bulunması nedeniyle daha az tercih edilmektedir. Her iki parkta da kullanıcılar kendilerini güvende hissetmektedir bunun nedeni her iki parkta da güvenlik bulunması ve etrafının duvarlarla çevrili olması kullanıcıların kendilerini güvende hissetmelerine neden olmaktadır. Kyoto Japon Parkı manzara güzelliği bakımından daha yeterli bulunmuştur. Bitkisel tasarımın yeterli olması ve su ögesi ile japon mimarisine uygun bitkilerin birlikte bi uyum içerisinde olması neden olmaktadır. Kalehan-Ecdat Parkı konut alanlarına ve alışveriş merkezine yakınlık dolayısıyla gürültü seviyesinin fazla bulunduğu anlaşılmaktadır. Kyoto Japon Parkına göre Kalehan-Ecdat Parkı'nın bakım çalışmalarının yeterli olduğu anket sonuçlarına göre anlaşılmaktadır. Bakım çalışmalarının yeterliliği de parkın tercih edilme oranını etkilemektedir. Parkın büyüklüğü ve su ögesinin yeterliliği bakımından Kalehan-Ecdat Parkı, Kyoto Japon Parkına göre daha yeterli bulunmuştur.

konularda Kalehan Ecdat Parkı ve Kyoto Japon Parkı'nın yeterliliği hakkında fikirleri alınmıştır. Bitkisel tasarım olarak Kyoto Japon Parkı yeterli bulunurken (%67), parkın büyüklüğü açısından Kalehan Ecdat Parkı yeterli bulunmuştur (%71). Kullanıcılar çöp kutuları (%59) ve oturma elemanlarını (%44) Kyoto Japon Parkında yeterli bulurken, aydınlatma elemanları (%59) ve otopark (%38) bakımından Kalehan Ecdat Parkını yeterli bulmaktadır. Kyoto Japon Parkı ve Kalehan Ecdat Parkı'nda kendini güvende hisseden kullanıcıların sayısı eşittir (%63). Kalehan Ecdat Parkı, Kyoto Japon Parkına göre daha kolay ulaşılabilir bulunmuştur (%65). Bakım çalışmaları (%58) ve su ögesi (%62) Kalehan Ecdat Parkında yeterli bulunurken, manzara güzelliği bakımından Kyoto Japon Parkı daha yeterli bulunmuştur (%61). Kalehan Ecdat Parkı Kyoto Japon Parkına göre daha gürültülü olduğu anlaşılmaktadır (%42)

Konya'nın Selçuklu ilçesinde bulunan Kyoto Japon Parkı ve Kalehan-Ecdat Parkı örneğinde yapılan araştırmanın sonuçlarına bakılarak manzara güzelliği ve bitkisel tasarımın yeterli olduğu parklar; kolay ulaşılabilen, bakım çalışmaları düzenli yapılan, aydınlatma elemanları, otoparkların ve su ögesinin yeterli olduğu parklara göre daha az tercih edildiği söylenebilir.

5. Teşekkür

Bu makale 1. Uluslararası Uygulamalı Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansında (1st. International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021) sözlü bildiri olarak sunulmuş ve özeti basılmıştır.

Kaynakça

- Anonim, (2019). [online], <http://www.konyagezirehberi.net/konya-kalehan-ecdat-bahcesi-parki-adres-resimler-ve-genel-bilgiler>, [Ziyaret Tarihi: 02.05.2021].
- Asimgil B., (2012). Kent Parklarının Sürdürülebilir Planlaması – Balıkesir Örneği, Megaron, 7(1), 1-14.
- Aylan F.K., Şalvarcı S., (2018). Kent Turizmi Açısından Rekreasyon Alanlarının Önemi: Konya Temalı Parklar Örneği, Uluslararası Turizm ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, Sayı:3 49-62.
- Başalma D. E., Uslu A. ve Körmeçli P.Ş., (2017). Kent Parkı Kalite Göstergelerinin Değerlendirilmesi Kapsamında Bir Deneme: Ankara/100. Yıl Birlik Parkı Örneği, Uluslararası Peyzaj Mimarlığı Araştırmaları Dergisi, 1 (1), 8-13.
- Çakıcı I., Çelem H., (2009) Kent Parklarında Görsel Peyzaj Algısının Değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 15(1), 88-95.
- Çetinkaya G., Erman A., Uzun M.S., (2015). Rekreatif amaçlı park kullanıcılarının memnuniyet ve memnuniyetsizlik faktörlerinin belirlenmesi, International Journal of Human Sciences, 12(1), 851-869.
- Çınar İ., (2008). Kent Parklarının Rekreatif Yönden Yeterliliği Üzerine Fethiye-Muğla Kent Parkları Örneğinde Bir Araştırma, ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(2), 33-38.
- Elinç H., Polat A.T., (2011). Görsel Kalite Değerlendirmesi Yöntemi İle Antalya İli Alanya İlçesindeki Abdurrahman Alaettinoğlu Ve Alanya Belediye Başkanları Kent Parklarının İrdelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 129.
- Güngör, S. (2019). Yaşlı Bireyler Açısından Peyzaj Tasarımının Konya Japon Parkı Örneğinde İncelenmesi. Yüzcüncü Yıl

- Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, Volume: 29 Number: Special Issue, 54-62. DOI: 10.29133/yyutbd.475409
- Gürer N., Uğurlar A., (2017). Kent Parklarında Kullanıcı Memnuniyeti: Ankara Kuğulu Park Örneği, *Megaron*, 12(3), 443-459.
- Işık B. Ö., Kablan Y., Sayitoğlu Ç., Nasin D., Odacı G.S., (2017). Kullanıcıların Kent Donatılarının Kullanılabilirliğine Etkisi, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 151-164.
- Karadeniz Z., (2019). Peyzaj Tasarım Kriterleri Açısından Samsun Kent Parklarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı.
- Konakoğlu Z. N., Bekar G. İ., (2021). Kent Parkları ile Kent Kimliği İlişkisi: Trabzon Örneği, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, s. 211-223.
- Onsekiz D., Emür S.H., (2008). Kent Parklarında Kullanıcı Tercihleri ve Değerlendirme Ölçütlerinin Belirlenmesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Say :24* 69-104.
- Önal S., (2007). Kent Parklarda Kullanılan Donatıların Standartlara Uygunluğunun Belirlenmesi: Ankara Örneği, *Antropoloji*, (38), 54-64.
- Önal S., Sağır M., (2018). Ankara Kent Parklarının Kullanımının Belirlenmesi, *Ankara Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 77-90.
- Özdemir B., Polat A.T., (2013). The Evaluation of User Preferences: the Case of Urban Parks in Konya, *The Journal of MacroTrends in Energy and Sustainability*, 48-58.
- Özdemir, B., (2012). Kent Parklarının Kentsel Yaşam Kalitesine Katkıları, Yüksek Lisans Semineri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Konya.
- Özkır A., (2007) Kent Parkları Yönetim Modelinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 11-29.
- Surat H., (2017). Kent Parklarının Görsel Peyzaj Algısının Peyzaj Mimarlığı Öğrencileri Tarafından Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 70-80.
- Wong K. K., Domroes M., (2005). The Visual Quality Of Urban Park Scenes Of Kowloon Park, Hong Kong: Likeability, Affective Appraisal, And Cross-Cultural Perspectives, *Environment And Planning B: Planning And Design*, 32(4), 617-632.
- Yücel G.F., Yıldızcı A.C., (2006). Kent Parkları İle İlgili Kalite Kriterlerinin Oluşturulması, *İTÜDERGİSİ/a*, 5(2).
- Zaloğlu A., (2006). Ankara Kent Parklarında Suyun Gösteri Elemanı Olarak İrdelenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Ankara.



Design and implementation of a fully automated system dedicated to the control of an egg incubator

Oussama Hadoune^{*}, Mohamed Benouaret², Mohamed Fouad Guellati³

^{1*} Badji Mokhtar University, Faculty of Engineer, Department of Electronics, Annaba, Algeria, (ORCID: 0000-0003-0843-2767), Oussama.hadoune@univ-annaba.org

^{2*} Badji Mokhtar University, Faculty of Engineer, Department of Electronics, Annaba, Algeria, (ORCID 0000-0002-3179-8946), Mohamed.Benouaret@gmail.com

^{3*} Higher School of Industrial Technologies- Annaba, Department of the Second Cycle, Electricity Generation and Renewable Energy, Annaba, Algeria, (ORCID 0000-0001-8143-6057), m.guellati@esti-annaba.dz

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1000315)

ATIF/REFERENCE: Hadoune, O., Benouaret, M. & Guellati, M. F. (2021). Design and implementation of a fully automated system dedicated to the control of an egg incubator. *European Journal of Science and Technology*, (28), 368-374.

Abstract

Nowadays, incubation systems are playing an increasingly important role in agriculture and poultry farming. With the evolution of technology, these systems must also be developed to keep up with a fast-changing world. Poultry egg incubation systems are based on the principle of providing a nest-like environment for the hen. A hen lays about 1 egg per day, and usually takes about ten days to start hatching. So, the incubation system presents a practical solution to increase the number of chicks.

In order to keep up to date, we designed and built an incubation system for poultry eggs equipped with advanced technology allowing it to ensure an adjustable humidity level and temperature degree, using a PID controller that we have implemented as well as an automatic turning egg mechanism and an automatic water filling system with other features allowing it to be completely autonomous (not requiring human intervention). The system is also equipped with 3 LCD screens allowing us to visualize the water levels in the two tanks (inside and outside), the date / time, the state of egg turning, humidity level and temperature degree. A keyboard is integrated into it, offering the possibility of easy handling while having an advanced technology. The fully automatic realized egg incubator has demonstrated a high hatching rate.

Keywords: PID, real time, multitasking system, egg Incubator, chick.

Bir yumurta kuluçka makinesinin kontrolüne adanmış tam otomatik bir sistemin tasarımı ve uygulanması

Öz

Günümüzde kuluçka sistemleri tarım ve kümes hayvancılığında giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu sistemlerin de hızla değişen dünyaya ayak uyduracak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Kanatlı yumurta kuluçka sistemleri, tavuk için yuva benzeri bir ortam sağlama ilkesine dayanmaktadır. Bir tavuk günde yaklaşık 1 yumurta bırakır ve genellikle yumurtadan çıkmaya başlaması yaklaşık on gün sürer. Böylece kuluçka sistemi daha kısa sürede civciv sayısını artırmak için pratik bir çözüm sunar.

Güncelliği takip etmek için, kanatlı yumurtaları için, uyguladığımız bir PID kontrolör ve otomatik çevirme mekanizması kullanarak, nem seviyesi ve sıcaklık derecesi ayarlanabilen, ileri teknoloji ile donatılmış bir kuluçka sistemi tasarladık ve kurduk. tamamen otonom olmasını sağlayan (insan müdahalesi gerektirmeyen) diğer özelliklere sahip otomatik su doldurma sistemi. Sistem ayrıca iki tanktaki (iç ve dış) su seviyelerini, tarih/saati, yumurta dönüş durumunu ve nem seviyesi/sıcaklık derecesini görmemizi sağlayan 3 adet LCD ekran ile donatılmıştır. İçine entegre edilmiş bir klavye, gelişmiş bir teknolojiye sahipken kolay kullanım imkanı sunuyor.

Anahtar Kelimeler: PID, gerçek zamanlı, çoklu görev sistemi, yumurta kuluçka makinesi, civciv.

* Corresponding Author: Oussama.hadoune@univ-annaba.org

1. Introduction

Nowadays, incubation systems occupy an increasingly important place in several and different fields (science, agriculture ... etc.), the egg incubator is a brooding system based on the principle of the creation of an environment similar to the one created by the oviparous species throughout the hatching period.

The system we are going to design may present a solution for endangered oviparous animals by increasing the number of chicks hatched, which can help re-balance the ecosystem.

The avian egg incubation system presents a good alternative to replace the hen in its nest, using advanced technology in electronics and automatic, we can increase the number of eggs that hatch in 21 days without any intervention of hens.

Several parameters must be adjusted to ensure good hatching, the humidity level and the temperature degree are the two pillars on which the platform is based to ensure a high percentage of success.

Therefore, our project, aims to create an incubation system to increase the number of chicks hatched, by creating an environment similar to that of a hen in its nest. It consists of the design of a fully automatic egg incubator based on multi-tasking concept with as much recyclable material as possible while applying the concepts of automatic control (PID, Bang-Bang controller...etc.), electronics (printed circuit ... etc.) and mechanics (turning eggs).

2. Incubators:

An incubator is a controlled enclosure thermostat that we find today in scientific laboratories, agricultural fields and they have even invaded the industrial world, thanks to their interior environment offering the possibility to easily set temperature and the humidity rate.

The incubator that we are going to design specializes in poultry farming, more precisely in the artificial incubation of chicken eggs, to do this, we must study the conditions under which an embryo can develop, its growth process and the different mechanisms that an incubator must be equipped with in order to ensure a good hatching rate.

2.1. The different parameters to control an incubator:

2.1.1. Temperature:

Temperature plays a central role in the hatching process of an egg, a small difference between the reference temperature and the actual one can cause embryo death.

2.1.2. Humidity:

This parameter is also essential for the development of the embryo; the control is done by either a humidifier or the steam resulting of the temperature rise using a water heater.

2.1.3. Egg positioning:

For the embryo to not stick to the shell, a mechanical system that allows the turning of the eggs is put in place. The explanation of its operating principle will be discussed in the next pages.

2.1.4. Air and ventilation:

Any incubator must have at least two holes allowing an exchange of air between the inside and the outside of the incubator; oxygen is needed for the egg to hatch.

The presence of fans in an incubator will play the role of:

-a distributor to ensure that the temperature is the same in different corners of the device;

-an extractor to facilitate the exchange of air in the incubator.

3. From egg to chick:

In this part of the paper, we will study the evolution of the embryo until it peels off its shell.

3.1 Chicken egg structure:

Before moving on to studies of embryonic development, we will start by defining the different components of a chicken egg which is layered and each layer has a specific role.

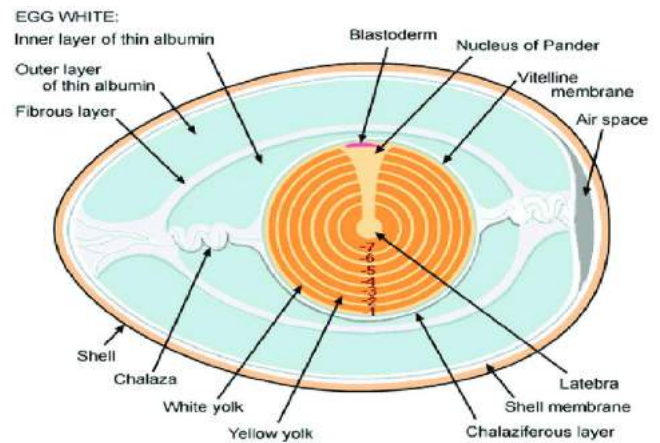


Figure 1. Egg structure [1]

3.1 Candling technique:

First, to incubate eggs, only fertilized ones can be used. A fertilized egg is when the hen has already lived with a rooster the days preceding the laying. we can only see all the transformations that take place inside the egg by using candling. Candling is to see the development of the embryo inside the egg using an LED light (high power torch) in the dark, while being careful not to have direct contact between the egg and the egg test pattern so as not to increase its temperature.

An egg consists of three levels, yolk, white and an air pocket, sometimes we mark the presence of a black point (germ) on the yolk which represents the cell that will give us the embryo, so we can differentiate it with the help of the air pocket, if it is very clear and occupies the upper part, it can be said that it is a fertilized egg. A few days later and under conditions of egg storage, this black point begins to grow and takes more and more place between the yolk and the white, this is called the development of an embryo.



Figure 2. Candling method [2]

3.2 Embryo development:

An embryo turns into a chick in 21 days, and this can only be done in the presence of several parameters which we have already discussed in the previous section. During the incubation period, the operator must shoot at least twice, once on the eighth day and once on the eighteenth day, this control allows to visualize the evolution of the pocket air that is 1/10 the volume of the egg at the start of incubation and should be 1/3 at the end. During the first days of incubation, the embryo uses the holes in the shell for breathing and the nutrients of the yolk and white for food. Indeed, everything is based on the size of the air chamber, during

incubation, the embryo will lose 13% of its weight in water through the pores of the shell, this loss of quantity of water will be occupied by air into the inner tube, which will serve as oxygen a few days before the chick hatches. Two cases are possible, if the air pocket is small, this means that the embryo obtained is of a large size and it will not be able to pierce an internal hole since it occupies all the space in the egg, which means that even freeing it up from the air pocket space, it would not be enough to allow it to pierce the shell. In a second case where the embryo loses a large amount of water (more than 13%) through the pores of the shell, this lost water will be replaced by air which gives a very evolved air pocket (large) and a weak embryo that won't have enough strength to pierce a hole in the shell. There is a second method which allows to see the evolution of the embryo, but it is rarely used, it consists in weighing the weight of the eggs before putting them in the incubator, and to react on the humidity rate of which we will talk later in order to have a loss of 13 percent a few days before the hatching period. Temperature, humidity, turning and aeration, are parameters that must be present and maintained in the case of natural or automatic brooding, in both cases, the process for obtaining a chick will be presented in Table 1.

Table 1. Embryon development stages

Days	Embryo development
1 st day	Tissue development
2 nd day	Formation of the heart, first beats Appear
3 rd day	Formation of blood vessels
4-7 th day	Separation of the head from the body
8-14 th day	Development of feathers, scales on feet and paws, the embryo begins to turn to the widest end of the egg
14-18 th day	The embryo takes up all the available space and absorbs the rest of the yolk (this is what nourishes the chick a few days after birth).
19 th day	The embryo pierces an internal duct
20 th day	The embryo pierces an external duct
21 st day	Hatching, the chick is now in the air free and is now ready to face new events

4. Automatic control

Controlled systems can present faults in the presence of disturbances: instability, insufficient precision, response time that is too slow, with regard to the characteristics of the specifications. It is often necessary to incorporate an element called controller into the control loop in order to improve the performance of the closed loop.

The most common controller is the Proportional, Integral, Derivative or PID controller, the advantages of a PID controller are simplicity and efficiency, it is therefore used in various fields such as industry, aeronautics, medical equipment and automotive. It's also used especially in PA (process automation), equipment industry such as steel, petroleum, chemicals and food, it occupies a major place as an indispensable part of automation technology.

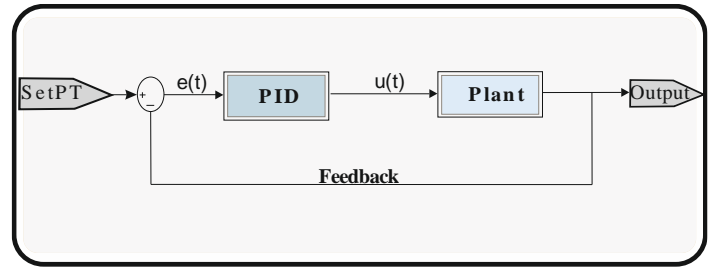


Figure 3. PID control scheme

4.1. Design and practical realization

In this section we will talk about our complete realization, while starting with the design, to properly structure the project it is necessary to divide it into several tasks, so the project becomes more easily manageable and controllable.

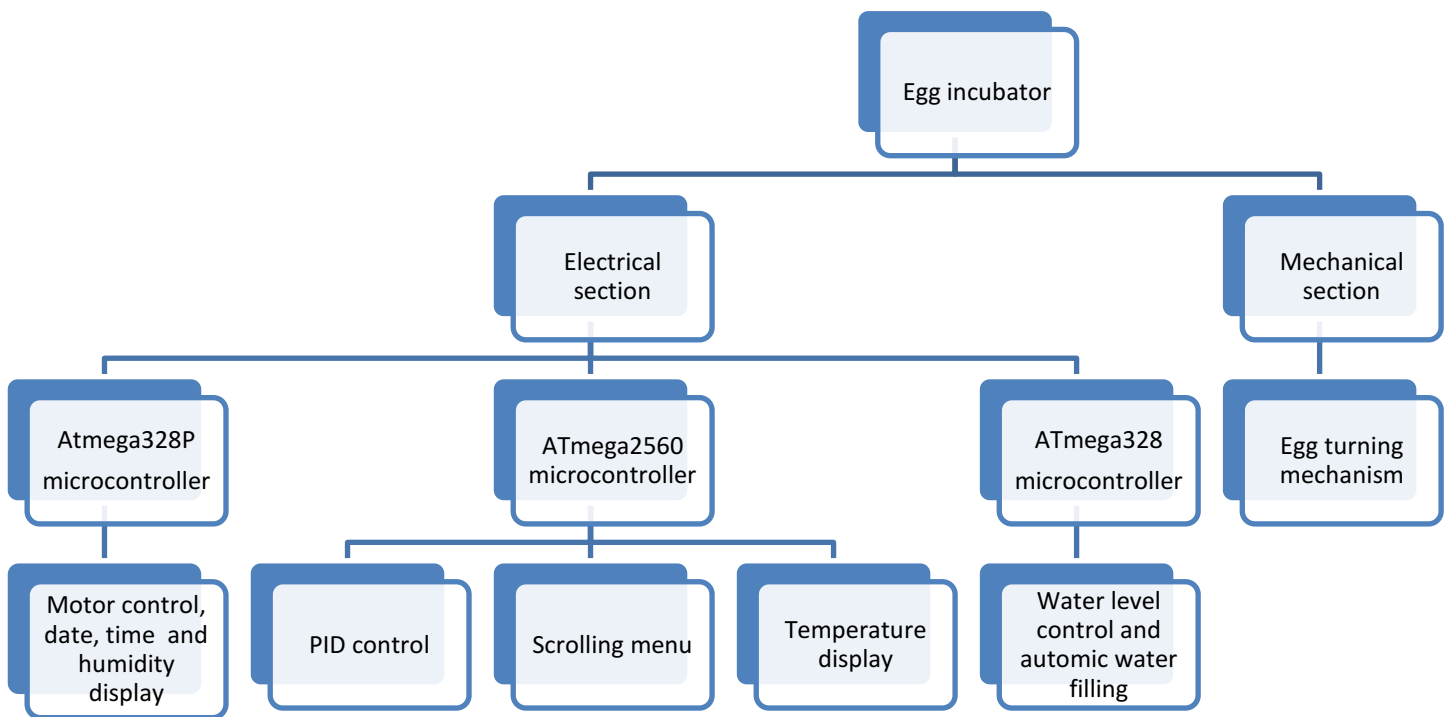


Figure 4. General synoptic diagram

4.2. Conception

4.2.1. Design of a push button keyboard

By using push-buttons and resistors, we were able to simulate the operation of a keypad which offers us the possibility of controlling a scrolling menu, changing the PID controller parameters, setting the temperature and humidity level.

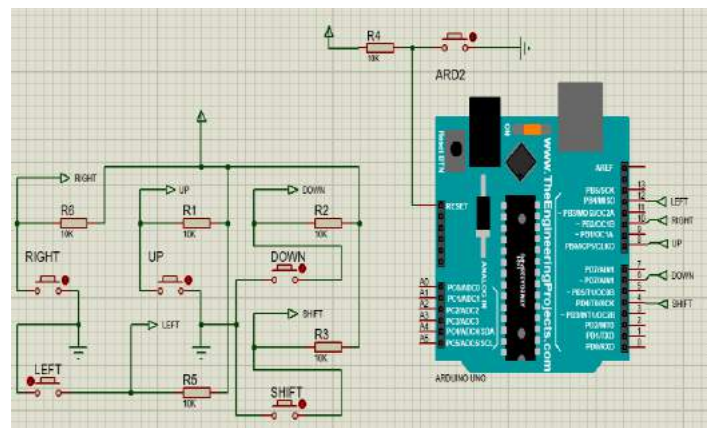


Figure 5. Electronic circuit simulation of the push button keyboard

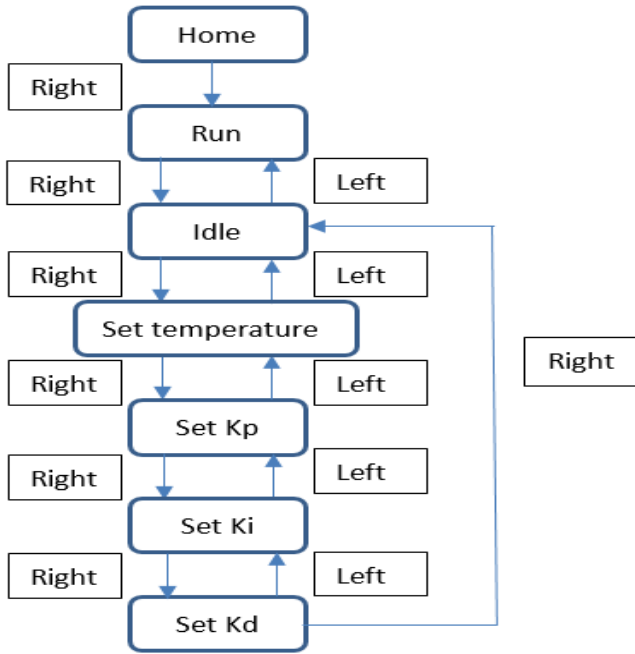


Figure 6. Synoptic diagram of the scrolling menu

4.2.2 Design of temperature control system

The system responsible for controlling the temperature consists of two relays whose purpose is to control a fan and a heating plate. The control of the relays is done by AVR micro-controllers and is proportional to the effort provided by the PID controller.

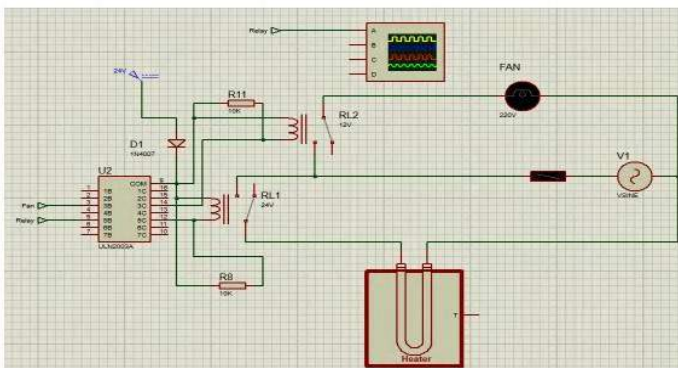


Figure 7. Simulation of the temperature control system

4.2.3 Design of an external watchdog timer:

we also used an external watchdog timer which aims to reset the microcontroller in case the program crashes. These kind of intelligent systems will limit human intervention and makes the system completely autonomous.

The value of the capacitor used in the external watchdog timer depends on the necessary time to reset the microcontroller in case of program crashes.

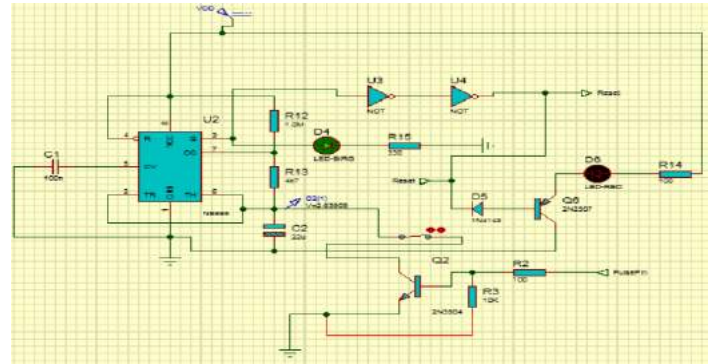


Figure 8 External watchdog timer using Ne555

4.3. Applied realization:

4.3.1. Realization of the turning egg mechanism

It is absolutely necessary to take into consideration the weight when making a mechanism for turning the egg (a hundred eggs), to do so, we opted for wheels whose role is to carry the plate (reducing the motor load), the rest of the mechanical part will take care of moving the plate (principle of an endless screw).



Figure 9. Turning egg mechanism

We also realized an H-bridge circuit to control (PWM and direction) the egg turning motor, the printed circuit design was made using Eagle Software as shown in figure (10).

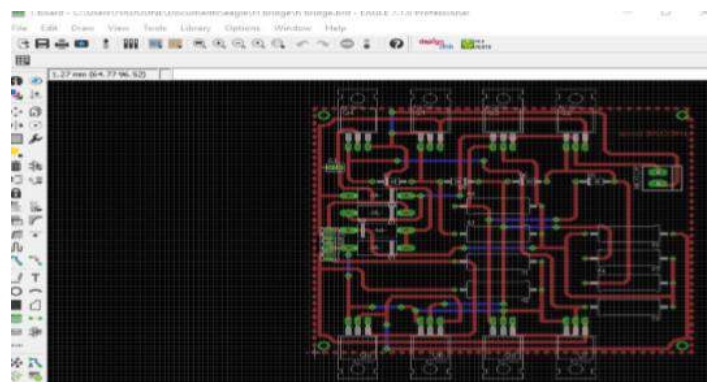


Figure 10. Printed circuit design using EAGLE software

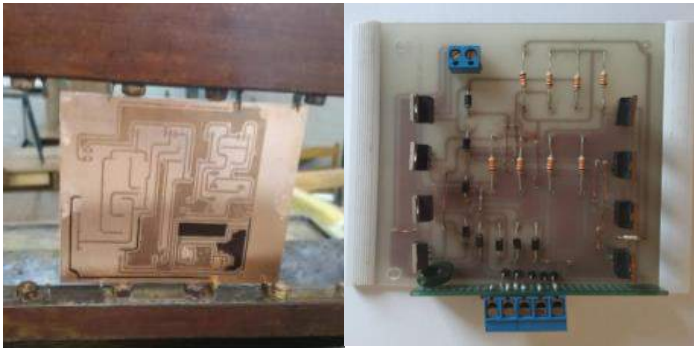


Figure 11. Printed circuit realization

The use of mosfet and schottky diode allowed us to control the motor with high current value and fast switching speed.

4.3.2 Realization of a push button keyboard

The handling of a scrolling menu is done by a push-button keyboard, the role of which is to enter the various parameters of the PID controller as well as the set values for the temperature and the humidity level.

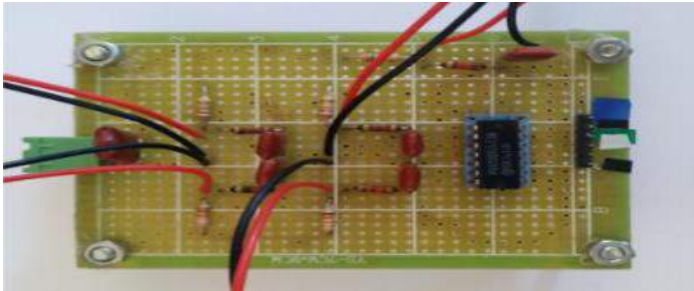


Figure 12. Push button keyboard electronic circuit

4.3.3 Realization of the temperature / humidity control system

To power the various AVR micro-controller boards, we used voltage controllers whose references are as follows: 7805, 7809 and 7812, each of the three is responsible for supplying the following equipment: micro-controllers, motor, sensors and screens. This card also allows the control of the fans and the heating plate, it represents the motherboard of our project.

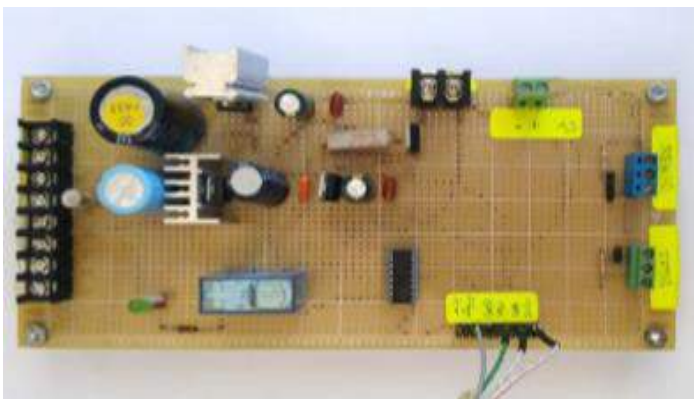


Figure 13. Temperature / Humidity control system

4.3.4. Date / time, humidity / water level and motor state display

We have made an electronic circuit on a perforated board that we have placed on the Avr Micro-controller board, which displays the date / time, water level in both internal and external tank, the state of the motor (translation of the plate on the left / right side) and humidity level as well as the I2C connection between the LCD screen and the RTC module as shown in figure (14).

If the water level:

Reaches a certain low level in the internal tank, it will fill up automatically;

Is low in the external tank the buzzer emits a sound to warn the operator.

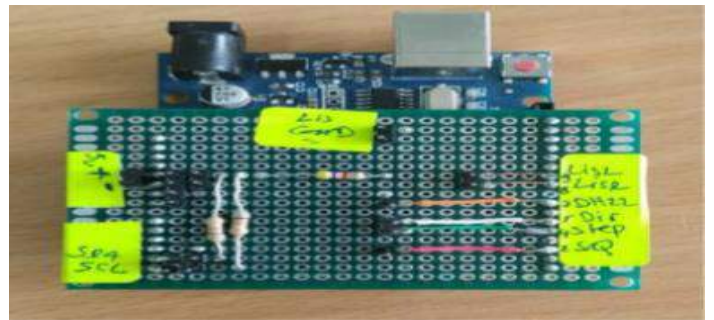


Figure 14. Date / time, humidity level and motor state display electronic circuit

The following figures show the different parts of the realized egg incubator, where figure (15) displays the controller allowing the multitasking real time execution. Figure (16) illustrates the supervision and control interface (keyboard & LCD screens), while figure (17) represents the global egg incubator model.



Figure 15. Egg incubator controller



Figure 16. Supervision & control interface



Figure 17. Global egg incubator model

5. Conclusion

The goal of this project is the design and realization of a fully automatic incubation system specialized in the production of chicks with a high hatching rate (more than 80%). We have been able to achieve this objective by putting together many fields of study and using the knowledge acquired throughout this work, starting from the field of poultry farming to the design of a mechanical system and ending with the field of electronics and automation, by combining all this latter we have been able to:

Implement a PID (temperature) & bang-bang controllers (humidity);

Construct an automated turning egg mechanism;

Build a push button keyboard to handle a scrolling menu;

Implement an intelligent alarm and automatic filling system;

Realize an external watchdog timer to avoid program crashes;

Implement a multitasking display system (water level in both tanks, temperature, humidity, motor state and date/time).

The fully automatic realized egg incubator has demonstrated a very good hatching rate (more than 85%).

References

- (1) Adegbenjo, A. O., Liu, L., & Ngadi, M. O. (2020). Non-Destructive Assessment of Chicken Egg Fertility. *Sensors*, 20(19), 5546.
- (2) Muralidharan, L., & Singh, P. THE HAEMATOLOGICAL CHANGES AND HEARTBEAT VARIATION IN WHITE LEGHORN EMBRYOGALLUS GALLUSDOMESTICUSEXPOSED TO HIGH DECIBEL SOUND.



Tracking control of a ball on plate system using PID controller and Lead/Lag compensator with a double loop feedback scheme

Oussama Hadoune^{1*}, Mohamed Benouaret², Abdennour Zeghida³, Hichem Saker⁴

¹ Department of Electronics/LASA, University of Badji Mokhtar, Algeria, (ORCID: 0000-0003-0843-2767), oussama.hadoune@univ-annaba.org

² Department of Electronics/LASA, University of Badji Mokhtar, Algeria, (ORCID 0000-0002-3179-8946), Mohamed.Benouaret@gmail.com

³ Department of Electronics/LASA, University of Badji Mokhtar, Algeria, (ORCID: 0000-0002-1766-1628), abdennour.zeghida@univ-annaba.org

⁴ Department of Electronics/LASA, University of Badji Mokhtar, Algeria, (ORCID: 0000-0003-4791-9527), hichem.saker@univ-annaba.org

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1000437)

ATIF/REFERENCE: Hadoune, O., Benouaret, M., Zeghida, A. & Hichem, S. (2021). Tracking control of a ball on plate system using PID controller and Lead/Lag compensator with a double loop feedback scheme. *European Journal of Science and Technology*, (28), 375-380.

Abstract

Nowadays, technology is in continuous evolution, movement and balance control are in full expansion (humanoid robots, drones and parallel robots). The difficulty that robotics software developers are often facing is maintaining stability and balance, a robot that loses its balance is an instant threat to its environment, therefore, the ball on plate system is the best method to test the performance of a controller to ensure the balance of a given system.

This platform is an upgraded version of the ball and beam system, it is a multivariable and a nonlinear system which has an underactuated feature that makes it one of the most complicated systems in terms of control, requiring reliable, efficient and fast controllers to meet the end goal of this task. In this work, two types of controllers for the ball stabilization, classical PID controller and Lead / Lag compensator in a double loop feedback scheme, were presented in order to achieve a fast and precise response with a minimal tracking error. Finally, a comparison of the results obtained by these two control techniques was made which revealed the superiority of the Lead / Lag compensator in dealing with this kind of system.

Keywords: Nonlinear & underactuated system, PID, Lead/Lag compensator, Ball stabilization.

PID denetleyicisi ve çift döngülü geri bildirim şemasına sahip Öncü/Gecikme dengeleyici kullanılarak bir plaka sistemi üzerinde bir topun izleme kontrolü

Öz

Günümüzde teknoloji sürekli evrim halindedir, hareket ve denge kontrolü tamamen genişlemektedir (insansı robotlar, dronlar ve paralel robotlar). Robotik yazılım geliştiricilerinin sıklıkla karşılaştığı zorluk, istikrarı ve dengeyi korumaktır, dengesini kaybeden bir robot, çevresi için anında bir tehdit oluşturur, bu nedenle, plaka üzerinde top sistemi, bir denetleyicinin performansını test etmek için en iyi yöntemdir. Belirli bir sistemin dengesi.

Bu platform, bilya ve giriş sisteminin yükseltilmiş bir versiyonudur, çok değişkenli ve doğrusal olmayan bir sistemdir, bu sistem onu kontrol açısından en karmaşık sistemlerden biri haline getiren, gereksinimleri karşılamak için güvenilir, verimli ve hızlı kontrolörler gerektiren bir underactuated özelliğine sahiptir. Bu görevin nihai hedefi. Bu çalışmada, minimum izleme hatası ile hızlı ve kesin bir yanıt elde etmek için top stabilizasyonu için iki tip kontrolör, klasik PID kontrolör ve çift döngülü geri besleme şemasında Önde/Gecikme dengeleyici sunulmuştur. Son olarak, bu iki kontrol tekniği ile elde edilen sonuçların bir karşılaştırması yapıldı ve bu tür bir sistemle uğraşırken Öncü / Gecikme kompensatörünün üstünlüğünü ortaya koydu.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal olmayan ve yetersiz çalıştırılmış sistem, PID, Öncü/Gecikme dengeleyici, Top stabilizasyonu

* Corresponding Author: oussama.hadoune@univ-annaba.org

1. Introduction

Maintaining balance is a challenging task and can be used effectively to illustrate the role of control system, especially in mechatronics application [1] The Ball-and-Plate (B&P) system can be described as an enhanced version of a Ball-and-Beam system, whereby the ball positioning is controlled in dual directions. The B&P system finds practical applications in several dynamic systems, such as robotics, rocket systems, and unmanned aerial vehicles. The enumerated systems are often expected to follow a time parameterized reference path [2]. Due to the BP complexity and its non-linearity, the mathematical model of the BPS presents uncertainties which increase the difficulty of designing a suitable controller.

For more effective control, PID controller and lead & lag compensator are tested based on double loop feedback structure, where the inner loop provides the necessary effort for the rotation of the servo motor, while the outer loop comes up with the necessary servo motor angle which allows reaching the desired position.

Some researches have been done on similar systems, a comparison between different methods of control of ball and plate system with 6DOF Stewart platform was developed (Kassem, A., Haddad, H., & Albitar, C. (2015)), PID, LQR, SMC and fuzzy Logic controllers were implemented, The proposed four strategies were applied to 6DOF ball on platesystem, the best controller according to the author is the SMC although it presents chattering, which can cause the servomotor to malfunction. Furthermore, Sliding mode control for the Trajectory of ball and plate system was designed (Liu,H.,& Liang, Y. (2010, March).), this controller proves anovertime the presence of vibrations in the system response. A third comparison was proposed (Betancourt, F. I. R., Alarcon,S. M. B., & Velasquez, L. F. A. (2019, October).), the system's response for both controllers has a considerable settling time and shows the presence of a measurable steady state error.

The aim of this work is to design an optimized controller in terms of performances compared to those already implemented in previous works. These two controllers will be compared to each other with reference to the settling time, overshoot and steady state error.

This paper is divided into three sections, the first describes the mathematical modeling of the ball on plate system, the second addresses the design and the implementation of the controllers, finally, the third part is based on tracking and simulation with comparison of the obtained results.

2. Mathematical Model

The following equations are based on [3] and [4], the Lagrangian approach that can be defined as :

$$L = T - V \tag{1}$$

where (T) is the kinetic energy and (V) is the potential energy.

The Euler-Lagrange equation is written as following :

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{d}{dt} \frac{\partial V}{\partial q_i} = \partial Q_i \tag{2}$$

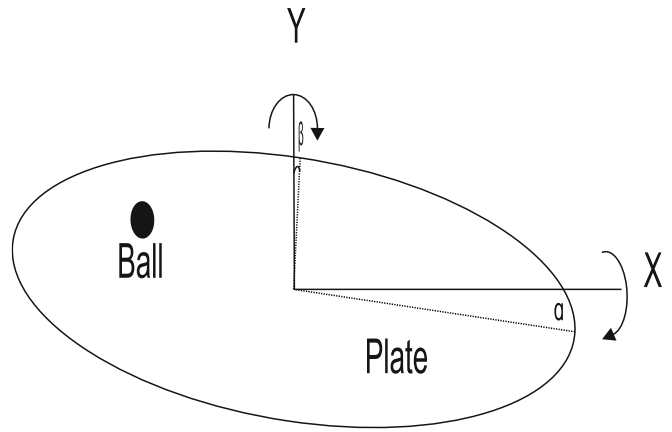


Figure 1. Structure of the ball on plate system

The kinetic energy is given by:

$$T = T_b + T_p \tag{3}$$

The ball kinetic energy can be determined by adding rotational energy to translational energy:

$$T_b = \frac{1}{2} m_b (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1}{2} I_b (w_x^2 + w_y^2) \tag{4}$$

Where m_b is the translational inertia (mass) and I_b is the rotational inertia; (\dot{x}^2, \dot{y}^2) and (w_x^2, w_y^2) are the ball's linear velocities and the ball's angular velocities along x and y axis respectively. The following relations are confirmed since the ball is rotating without slippage :

$$\dot{x}_b^2 = r_b + w_y, \dot{y}_b^2 = r_b + w_x \tag{5}$$

where r_b is the radius of the ball. By substituting the equations (5) into equation (4) we obtain :

$$T_b = \frac{1}{2} (m_b + \frac{I_b}{r_b^2}) (\dot{x}_b^2 + \dot{y}_b^2) \tag{6}$$

Similarly, the plate mathematical model is derived:

$$T_p = \frac{1}{2} (I_p + I_b) (\dot{\alpha}^2 + \dot{\beta}^2) + \frac{1}{2} m_b (x_b \dot{\alpha} + y_b \dot{\beta})^2 \tag{7}$$

The potential energy expression of the ball V is given by:

$$V = m_b g (x_b \sin \alpha + y_b \sin \beta) \tag{8}$$

Substituting the potential energy equation (8), the ball and plate kinetic energy equation (6) and (7) respectively in the Euler Lagrange equation (1) we obtain:

$$(m_b + \frac{I_b}{r_b^2}) \ddot{x}_b - m_b (x_b \ddot{\alpha}^2 + y_b \ddot{\alpha} \dot{\beta}) + m_b g \sin \alpha = 0 \tag{9}$$

$$(m_b + \frac{I_b}{r_b^2}) \ddot{y}_b - m_b (y_b \ddot{\beta}^2 + x_b \ddot{\alpha} \dot{\beta}) + m_b g \sin \beta = 0 \tag{10}$$

$$tx = (I_p + I_b + m_b x_b^2) \ddot{\alpha} + 2m_b x_b \dot{x}_b \dot{\alpha} + m_b x_b y_b \ddot{\beta} + m_b \dot{x}_b y_b \dot{\beta} + m_b x_b \dot{y}_b \dot{\beta} + m_b g x_b \cos \alpha \tag{11}$$

$$ty = (I_p + I_b + m_b y_b^2) \ddot{\beta} + 2m_b y_b \dot{y}_b \dot{\beta} + m_b x_b y_b \ddot{\alpha} + m_b \dot{x}_b y_b \dot{\alpha} + m_b x_b \dot{y}_b \dot{\alpha} + m_b g y_b \cos \beta \tag{12}$$

Where the nonlinear equations of motion (9) and (10) describe the movement of the ball on plate, equations (11) and (12) describe the effect of the servo motor torque on the ball on plate system.

(α, β) are the input angles of the system, ($\dot{\alpha}, \dot{\beta}$) are the angular velocities and ($\ddot{\alpha}, \ddot{\beta}$) are the angular accelerations. Designing a controller for such a complex nonlinear system is almost impossible, thus, to simplify the mathematical model we linearize the system.

2.1. Model linearization :

Due to the complexity of the ball on plate model, linearization is an essential part of the controller design. Since the system inputs are α and β angles, equations (11) and (12) are very hard to work with, equations (9) and (10) are chosen to be linearized around the equilibrium points. Assuming the angular velocities are very small ($\dot{\alpha} \approx 0, \dot{\beta} \approx 0$), also is the plate inclination $[-5^\circ + 5^\circ]$, let us assume: $\sin\alpha \approx \alpha, \sin\beta \approx \beta$

$$\left(m_b + \frac{I_b}{r_b^2}\right)\ddot{x}_b + m_b g \alpha = 0 \tag{13}$$

$$\left(m_b + \frac{I_b}{r_b^2}\right)\ddot{y}_b + m_b g \beta = 0 \tag{14}$$

Where: $I_b = \frac{2}{5} m_b r_b^2$

As long as the transfer function is the same for both X and Y

Table 1. Servo motor parameters

Parameter	Value	Unit
Ra (Armature Resistance)	1.8	Ohm
La (Armature Inductance)	0.24	Henry
B (Frictionl Coefficient of Motor & Load)	0.01	N.m.s
J Moment of Inertia of Motor & Load	0.0006	Kg.m2
Kb Back emf constant	0.24	V.S/rad
Kt Torque constant	0.24	V/(rad/sec)

3. Controller design:

In this section, we will start by giving the global structure of the whole system which is represented in figure (3). This type of structure allows us to use two controllers, each of which has a well-defined function, so the closed loop control will be more efficient, on the contrary, the closed loop with only one signal feedback presents more difficulties especially if we want to obtain good results in terms of stability, robustness and precision. In our case, we will use two types of controllers to test their performances, starting firstly with the PID which will be compared to the lead / lag compensator, the simulation results will be shown in the last section.

axes, in the following sections we will only work with X axis and we will apply the same to the Y axis.

2.2. Servo motor modelling:

The aim of the inner loop is to maintain the plate inclination at the desired point, to do so, we start by deriving the servo motor transfer function.

Figure (2) shows the block diagram of the servo motor transfer function.

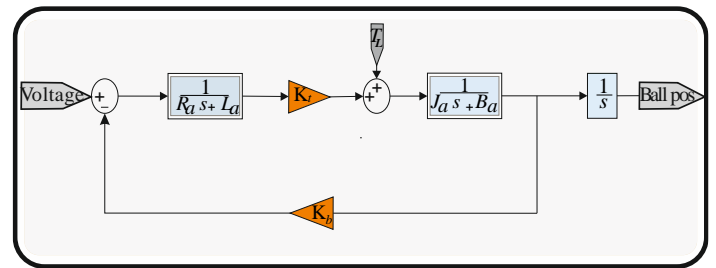


Figure 2. Servo motor transfer function

2.2.1 Servo motor parameter identification:

In the table below, the servo motor parameters are identified using MATLAB toolbox.

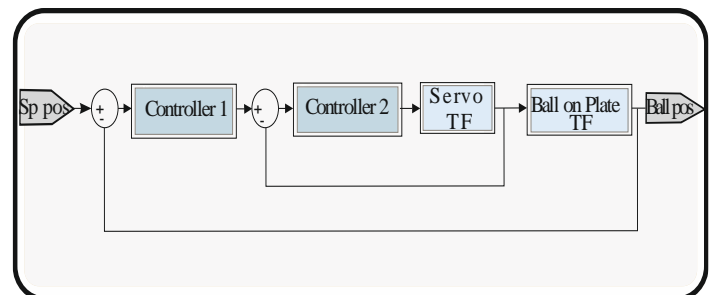


Figure 3. General scheme of ball on plate system

3.1 PID controller:

Firstly, we will use two PID controllers, the aim of the one in the inner loop is to maintain the servo angle at a specified desired input calculated by a second PID controller in the outer loop. The outer controller has as input the difference between the output of the B&P transfer function -ball X coordinate as input; and the desired X coordinate.

Figure (4) displays the double loop feedback structure using PID controller.

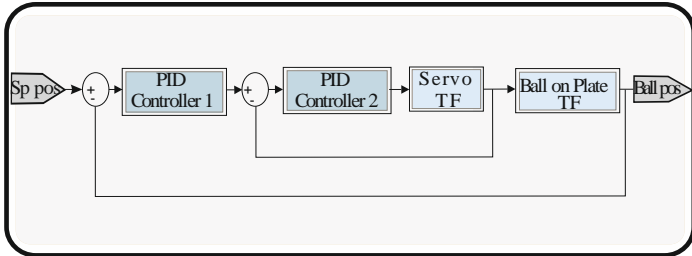


Figure 4. PID controller double loop feedback scheme

3.1 Lead & lag compensator :

Likewise, the lead & lag compensator has the same aim as PID controller, Actually, the implementation of this compensator was a little bit complex, we have chosen to use double lead & lag compensator to get the best response possible. Figure (5) exhibits the double loop feedback structure using lead & lag compensator.

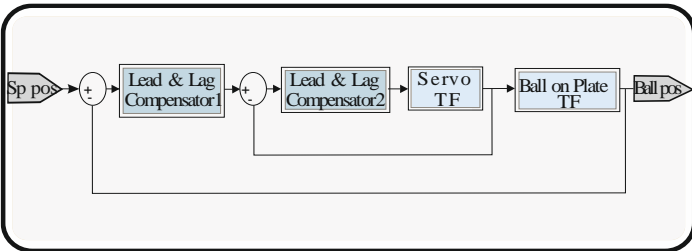


Figure 5. Lead & Lag compensator double loop feedback scheme

4. Simulation results:

4.1 PID controller simulation results:

As it can be seen in Figure (6), the system's response achieves the desired X coordinate after approximately 2.5s with an overshoot of 21%.

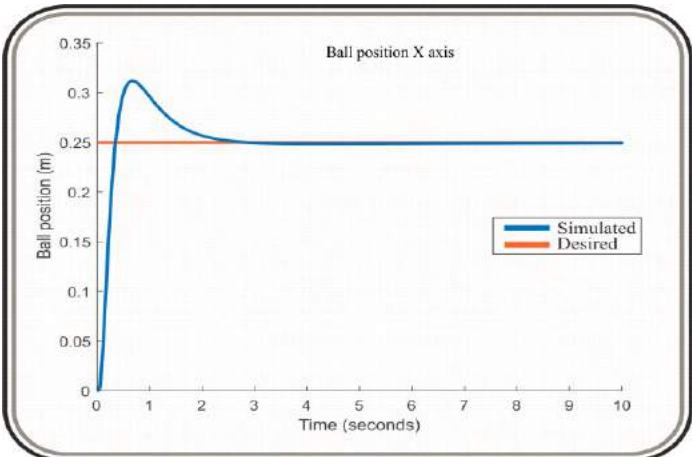


Figure 6. System response using PID controller

We can also notice the presence of a small steady state error, the more we decrease the settling time, the bigger the steady state error is, to solve this problem, we injected the desired input (multiplied by certain value) to the system output and the results are shown in figure (7).

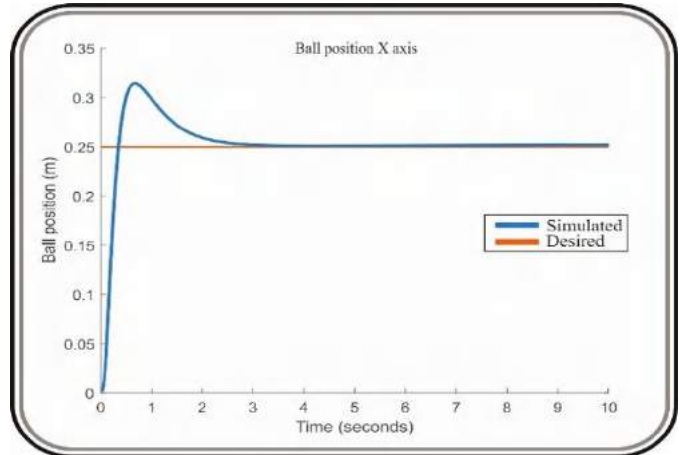


Figure 7. System response using adjusted PID control

4.2 Lead & Lag compensator simulation results:

Similarly, we can notice in figure (8) that the system response using lead & lag compensator achieves the desired X coordinate after approximately 1.9s with approximately the same overshoot value. further more, the steady state error showed is almost zero which makes the system more precise than the first controller.

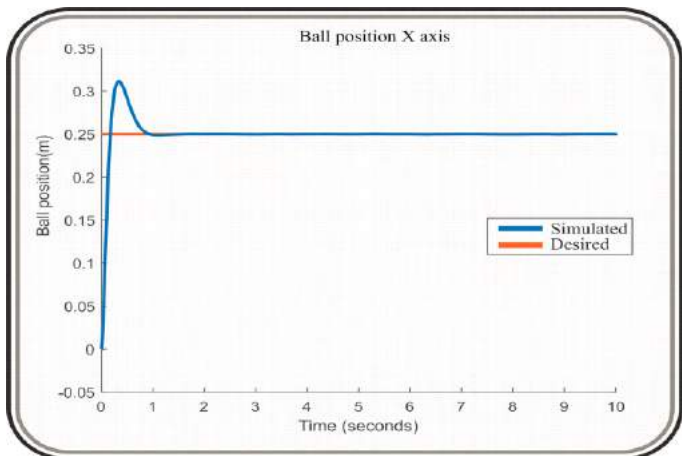


Figure 8. System response using Lead&Lag compensator

Figure (9) represents the controller effort, we can see that both controllers present approximately no chattering effect which makes the servo motor's work safely (chattering has an undesirable effect on the servo motor and actuators in general).

Unlike the SMC controllers presented in the previous research works, both PID & lead & lag compensator have a better reaction to the error variation.

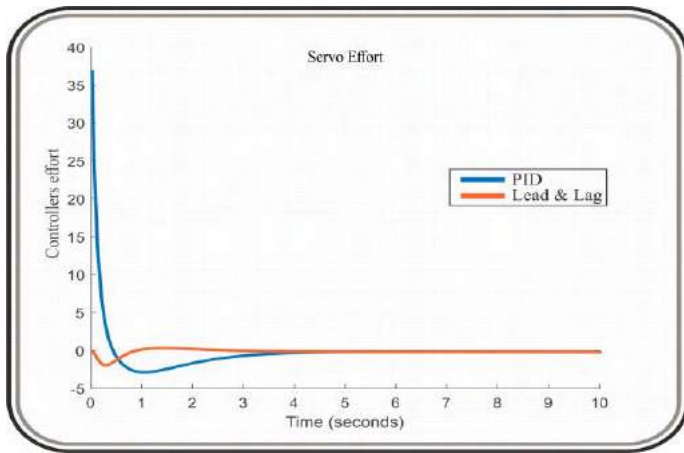


Figure 9. Controllers Effort

4.3 Comparison results:

Figure (10) illustrates the comparison between the controllers used. We can clearly see that lead & lag compensator has better performance.

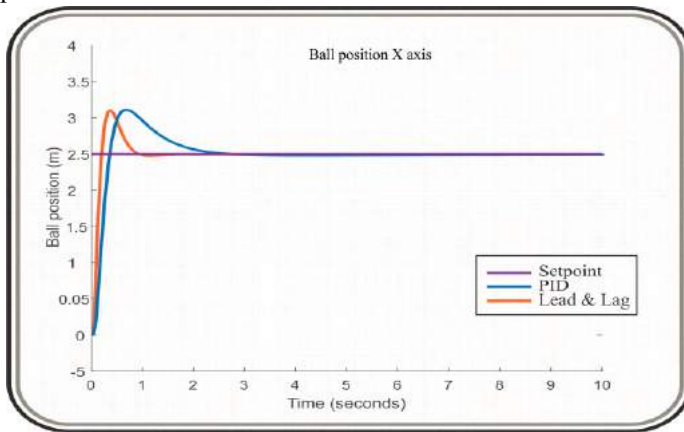


Figure 10. Comparison between the designed controllers.

4.2 Tracking results:

In this section, we will focus on tracking, we have simulated the system response of a sinusoidal function which is shown in figure (11).

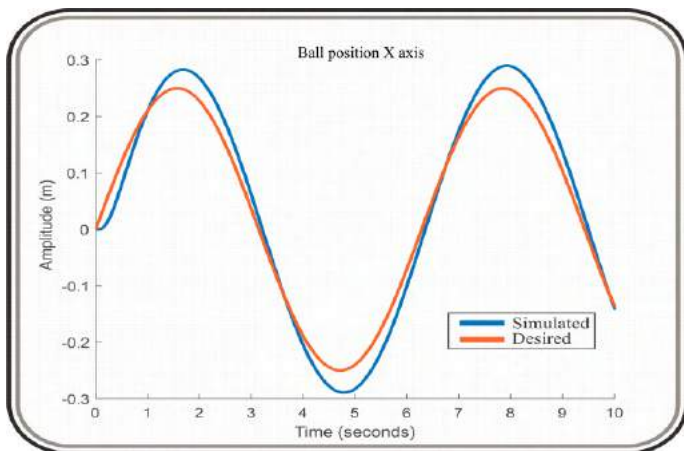


Fig 11. Ball tracking using PID controller

We can see that a small error is present, the system takes a small time to reach the desired value with a small overshoot value.

likewise, figure (12) illustrates the system response due to a sinusoidal desired input.

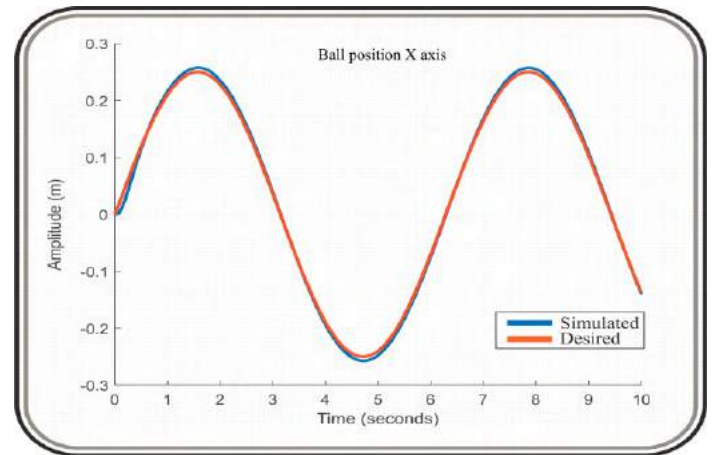


Fig 12. Ball tracking using Lead&Lag compensator

In this case, we see that the response of the system follows the reference with a high precision rate. lead & lag compensator was able to minimize the error while maintaining a small response time.

We can clearly see that lead & lag compensator has better performance in terms of settling time, overshoot and steady state error.

5. Conclusion:

In this research paper, we started with deriving the mathematical model of the BPS. Then, we linearized the mathematical model, after that, using the double feedback loop structure, we were able to implement two different types of controllers, the first one is a PID controller, the second one is a lead & lag compensator, the results showed that the latter offers better performances than PID in terms of response time, overshoot and static error. We can therefore, conclude that lead & lag compensator is better enough for it to be chosen. Further studies can be done by comparing lead & lag compensator with a controller that can handle uncertainties, such as fuzzy logic, mpc algorithms or optimized wavelet NiF with bat algorithm...etc.

References

- [1] Sinaga, E. F., Manurung, E. B., Chee, V. A., & Djajadi, A. (2011, March). Building and controlling a ball and plate system. In International Conference on Advances in Communication, Network, and Computing (pp. 600-608). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [2] J.Okafor, E., Udekwe, D., Ibrahim, Y., Bashir Mu'azu, M., & Okafor, E. G. (2020). Heuristic and deep reinforcement learning-based PID control of trajectory tracking in a ball-and-plate system. Journal of Information and Telecommunication, 1-18.
- [3] Negash, A., & Singh, N. P. (2015). Position control and tracking of ball and plate system using fuzzy sliding mode controller. In Afro-European conference for industrial advancement (pp. 123-132). Springer, Cham.
- [4] Kassem, A., Haddad, H., & Albitar, C. (2015). Comparison between different methods of control of ball and plate system

with 6DOF Stewart platform. IFAC-PapersOnLine, 48(11), 47-52.

- [5] Liu, H., & Liang, Y. (2010, March). Trajectory tracking sliding mode control of ball and plate system. In 2010 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR 2010) (Vol. 3, pp. 142-145). IEEE.
- [6] Betancourt, F. I. R., Alarcon, S. M. B., & Velasquez, L. F. A. (2019, October). Fuzzy and PID controllers applied to ball and plate system. In 2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC) (pp. 1-6). IEEE.



Kontrol Teorisinde Sık Kullanılan Bazı Fonksiyonların Kesirli Dereceden Çeşitli Türevlerinin Farklı Yöntemlere Göre Hata Değerlendirilmesi

Mehmet Korkmaz^{1*}

^{1*} Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0843-2767),
mkorkmazeem@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1001249)

ATIF/REFERENCE: Korkmaz, M. (2021). Kontrol Teorisinde Sık Kullanılan Bazı Fonksiyonların Kesirli Dereceden Çeşitli Türevlerinin Farklı Yöntemlere Göre Hata Değerlendirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (28), 381-385.

Öz

Bu çalışma kesirli dereceden türev işlemlerinin farklı kontrol fonksiyonları ve farklı kesirli türev yöntemlerine göre bir analizi üzerinedir. Kontrol fonksiyonları olarak sıklıkla kullanılan birim basamak ve rampa fonksiyonları seçilmiştir. Kesirli dereceden türev hesaplaması için analitik yöntemlerin yanı sıra literatürde sıklıkla kullanılan Grünwald-Letnikov ve Riemann-Liouville yöntemleri tercih edilmiştir. Fonksiyonların farklı dereceden türevleri hesaplanarak analitik çözümle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların hata değerlendirilmesi yapılmış ve ilgili eğrileri çizdirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gama fonksiyonu, kontrol teorisi, kesirli dereceden türevli sistemler, kesirli dereceden türev hesabı

Error Evaluation of Some Frequently Used Control Functions in Terms of Different Order Fractional Derivatives According to Several Calculation Methods

Abstract

This study is an analysis of the calculation of fractional order derivatives of some frequently used control functions according to the different calculation methods. A unit step and ramp functions are used as control functions which are often preferred to assess the system outputs. Besides analytical solutions, Grünwald-Letnikov and Riemann-Liouville methods are chosen as calculation procedures of fractional derivatives. Analytical solutions of functions at different orders are compared with different definitions methods for the same orders. Obtained results are analysed in terms of error values and relevant curves are plotted.

Keywords: Gamma function, control theory, fractional order derivative systems, fractional order derivative calculation

* Corresponding Author: mkorkmazeem@gmail.com

1. Giriş

Kesirli dereceden hesaplama neredeyse kalkülüs kadar eski bir geçmişe sahiptir. Leibniz ve L’hopital arasındaki mektuplaşmalar kesirli dereceden türev/integral hesaplamalarının yolunu açmıştır (1695). Kesirli dereceden hesaplamalar sayesinde örneğin bir fonksiyonun 0.5 dereceli integralinden veya 1+j dereceli türevinden bahsetmek mümkün olmaktadır. Diferansiyel denklemlerle ifade edilen sistemler için bu büyük bir esneklik sağlamaktadır. Bu sayede günümüzde ihtiyaç duyulan daha iyi sistem modelleri, daha iyi denetleyici tasarımları mümkün olmaktadır. Bu kapsamda kesirli dereceden türev/integral tanımlamaların yaygınlaşması önemli bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır [Xue, 2014; Al-Dhaifallah ve ark., 2018; Soukkou ve ark., 2016; Saçu ve Korkmaz, 2021].

Machado ve Lopes tarafından bir diyotun modellenmesinde kesirli hesaplama kullanılmıştır. Klasik diyot modelinde görmezden gelinen bazı dinamik parametreleri kesirli yöntemle ifade etmek mümkün olmuştur [Machado ve Lopes, 2019]. Wang ve ark. Lityum-İyon bataryaların modellenmesi ve parametre tanımları için kesirli hesaplama kullanılmıştır [Wang ve ark., 2015]. MPPT tasarımlarının ve kontrolünde de kesirli modellerden yararlanılmıştır. Dhaifallah ve ark. tarafından MPPT konusunda kesirli dereceden denetleyici için optimal parametre tasarımı üzerinde durulmuştur [Al-Dhaifallah ve ark., 2018]. Muñoz-Vázquez ve ark. tarafından kesirli bulanık denetleyiciler robot manipülatörler üzerinde denenmiştir. Sistemin sonuçları SMC tabanlı denetleyicilerin sürekli/süresiz durumları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir [Muñoz-Vázquez ve ark., 2019]. Tepljakov ve ark. tarafından kesirli denetleyicilerin endüstriyellemesi hususunda ve Soukkou ve ark. tarafından kesirli denetleyici tasarımı, optimizasyonu ve kararlılık analizi konularında kapsamlı derlemeler sunulmuştur [Tepljakov ve ark., 2021, Soukkou ve ark., 2016].

Bunlarında yanı sıra kesirli dereceden hesaplama yöntemi görüntü işleme [Chen ve ark., 2013; Kumar ve ark., 2017], sinyal işleme [Cruz-Duarte ve ark., 2018; Ma ve ark., 2020] gibi birçok alanda da kullanılmaya başlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kesirli Dereceden Türev

Kesirli dereceden türev hesabında literatürde tanımlanmış farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki Cauchy integral formudur. Bu form kompleks analizde sıklıkla kullanılmakta ve kapalı bir C alanı içerisinde fonksiyonun analitik çözümünü vermektedir [Xue, 2014; Soukkou ve ark., 2016].

$$\frac{d^n}{dt^n} f(t) = \frac{n!}{2\pi j} \oint_C \frac{f(\tau)}{(\tau-t)^{n+1}} d\tau \quad (1)$$

Denklem 1 içerisindeki n tam sayı olmayan bir α değeri ile değiştirildiğinde $t=\tau$ anında bir izole tekillik durumuna sebep vermekte ve kapalı eğrilerde tekilliğin göz ardı edilmesiyle kesirli türevlerin hesaplanmasında kullanılabilir. Bu duruma göre örneğin bir fonksiyonun kesirli dereceden hesaplamaları Denklem 2’deki gibi ifade edilebilmektedir.

$$D_t^\alpha t^m = \frac{\Gamma(m+1)}{\Gamma(m-\alpha+1)} t^{m-\alpha}, \alpha > -1 \quad (2)$$

Burada m fonksiyonun derecesi, α türev derecesi ve $\Gamma(\cdot)$ gama fonksiyonu olup faktöriyel hesaplarının bir genelleştirilmesi olarak düşünülebilir.

Grünwald-Letnikov (GL) bir diğer sıklıkla kullanılan kesirli dereceden hesaplama yöntemidir. Geçmişteki tüm noktaların değerlerini göz önüne aldığı için hafızalı türev olarak düşünülür. Denklem 3’teki gibi tanımlanır.

$${}_{t_0}D_t^\alpha = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{j=0}^{\lfloor \frac{t-t_0}{h} \rfloor} (-1)^j \binom{\alpha}{j} f(t-jh) \quad (3)$$

Burada $[\cdot]$ kısmı tam sayı olmayan değerler için en yakın tamsayı anlamına gelmektedir. α ’nın farklı değerleri ($\alpha > 0, \alpha = 0, \alpha < 0$) türev, fonksiyonun kendisi veya integral anlamına geldiği için GL operatörü D integro-türev operatörü olarak da adlandırılır.

Riemann-Liouville (RL) ise bir diğer kesirli dereceden türev hesaplama yöntemidir. Denklem 4 RL için kesirli dereceden hesaplama ile ilgilidir.

$${}_{t_0}D_t^{-\alpha} f(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{t_0}^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{1-\alpha}} d\tau \quad (4)$$

Bu tanımlamaların yanı sıra kesirli dereceden türev hesabında Caputo türevi, Hadamard integrali, Atangana-Baleanu türevi, Erdélyi-Kober operatörü gibi tanımlarda bulunmaktadır. Ayrıca kesirli dereceden türev/integral hesabında parametre sayısına veya fonksiyon türüne bağlı olarak hata, Dawson, beta, hipergeometrik, Mittag-Leffler gibi özel fonksiyonlarda kullanılmaktadır.

2.2. Kesirli Dereceden Türev/İntegral Yazılımları

Kesirli dereceden türev/integral sistem modellemesi ve kontrolünde klasik tam sayılı türev/integral sistemlerine göre önemli bir avantaj sunmaktadır. Örneğin kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılan PID denetleyiciler göz önüne alınırsa sistemin birinci dereceden integral ve türevi alınmaktadır. Bu denetleyici kesirli biçimi olan $PI\lambda D\mu$ denetleyicisi ile değiştirilirse türev ve integral değerlerinin 0 veya 1’den farklı seçilmesi ile geniş bir aralıkta denetleyici tasarımı yapılabilmektedir. Bu türde bir esneklik sistem tasarımında ve kontrolünde önemli bir avantaj sunmaktadır. Ancak hesaplama işlemlerinin zorluklar içermesi kesirli türev/integral işlemlerinin fazla kullanılmaması sonucunu doğurmuştur. Günümüzde ise bilgisayarların sahip olduğu yüksek hesaplama gücü sayesinde kesirli modeller tasarılarda kullanılmaktadır.

Kesirli dereceden türev/integral hesapları yapılırken 2.1 kısmında farklı denklemlere ifade edilen tanımlamalar bir algoritma çerçevesinde bilgisayar yazılımı olarak geliştirilebilir ve bu sayede ilgili hesaplamalar yapılabilir. Bunun yanı sıra kesirli dereceden hesaplamalarla ilgili literatürde tanımlanmış hazır yazılım paketleri de bulunmaktadır. Bunların bazıları aşağıda verilmiştir.

- FOMCON: Aleksei Tepljakov tarafından 2011’de geliştirilmiş ve sürekli olarak yeni eklemeleri barındıran bir yazılım paketidir [Tepljakov, 2011].
- FOTF: Dingyü Xue tarafından bazı Simulink bloklarını düşünüldüğünde 2004 yılından bu yana geliştirilmektedir [Xue ve Chen, 2015].

• Ninteger: Duarte Valério tarafından 2005'ten bu yana geliştirilmektedir. Sadece tek değişkenli sistemler üzerine uygulanabilmektedir [Valsa, 2011].

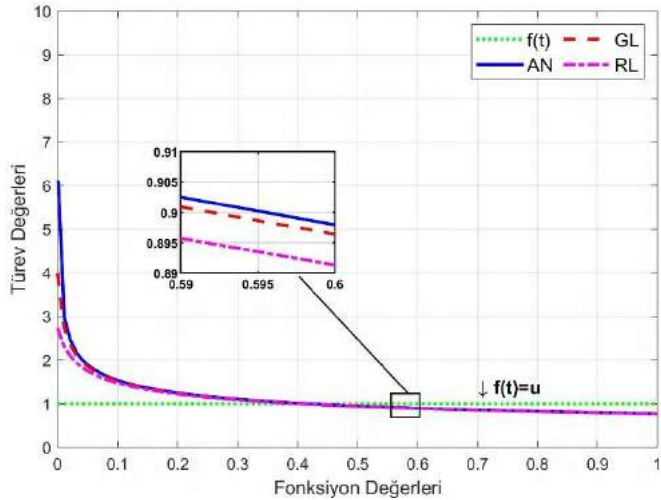
Bunların dışında Crone yazılım paketi ve birçok özel küçük kesirli hesaplama yazılımları bulunmaktadır. Bu çalışma içerisinde Dingyü Xue tarafından geliştirilen FOTF yazılım paketi kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma içerisinde ilk olarak kontrol teorisinde açık/kapalı çevrim sistemlerin cevaplarını elde etmek adına sıklıkla kullanılan Denklem 5'de görülen basamak (step) fonksiyonu kullanılmıştır.

$$u_A(t) = \begin{cases} u, & t \in A \\ 0, & t \notin A \end{cases} \quad (5)$$

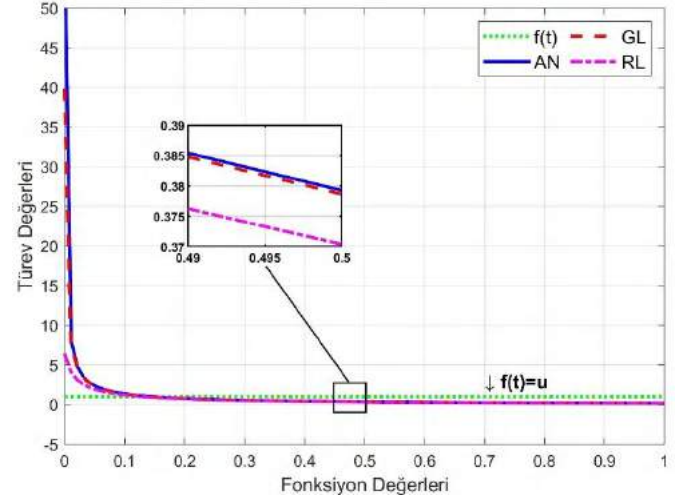
Burada A fonksiyonun tanım aralığı olup u sabit bir değeri ifade etmektedir. Bu çalışma için klasik olarak kullanılan birim basamak fonksiyonu düşünülmüş ve $u=1$, $A=(0,1]$ olarak seçilmiştir. Bu bilgiler ışığında fonksiyonun sırasıyla $\alpha=0.3$ ve $\alpha=0.8$ değerlerindeki türevleri kontrol edilmiştir. Sabit bir sayının 1.dereceden türevi 0'a eşit iken Şekil 1 ve Şekil 2'den de görüleceği üzere kesirli dereceden türev değerleri sıfırdan farklı olmuştur. Bununla birlikte zaman içerisinde türev değerlerinin sıfıra doğru yaklaşan bir eğilim içerisinde olduğu da görülmektedir. Şekil 1 incelendiğinde hem GL hem de RL yöntemlerinin analitik (AN) çözüm ile neredeyse birbirinin aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Daha detaylı inceleme adına Şekil 1'de 0.59-0.6 aralığındaki bölüm değerlerin yakından görülmesi için büyütülmüştür. Büyütülen bu kısım incelendiğinde analitik çözüme en yakın sonuçların GL yöntemiyle elde edildiği görülmüştür. Analitik çözüm ve yöntemlerin verdiği sonuçlar arasındaki hata ilişkisi Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Step fonksiyonu $\alpha =0.3$ türevi; $f(t)$ orijinal fonksiyon, AN analitik, GL Grünwald Letnikov, RL Riemann Liouville çözümleri

Türev değerinin 0.8 seçilmesi ile Şekil 2'de görülen eğriler bulunmuştur. Türev derecesinin artırılması daha kısa zamanda sıfıra yaklaşan değerlerin elde edilmesi sonucunu doğurmuştur. Daha detaylı görünüm için 0.49-0.50 aralığı yakınlaştırılmıştır. Her ne kadar çözümler birbirine çok yakın olsa da sonuçlarda küçük farklılıklar görülmüştür. Yöntemlerin analitik çözümlere

göre farklılıklarını gösteren hata değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

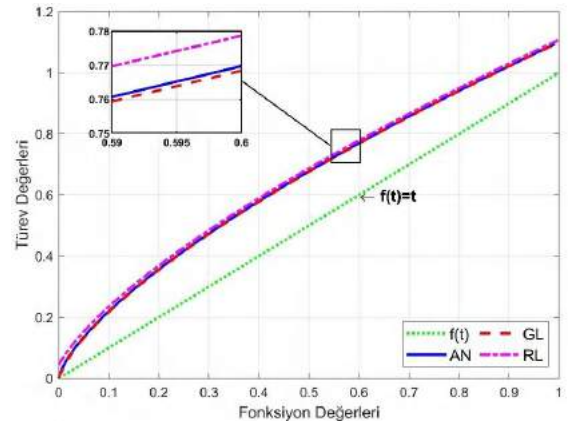


Şekil 2. Step fonksiyonu $\alpha =0.8$ türevi; $f(t)$ orijinal fonksiyon, AN analitik, GL Grünwald Letnikov, RL Riemann Liouville çözümleri

Step fonksiyonu ile elde edilen sonuçların doğrulanması adına ikinci bir değerlendirme için rampa fonksiyonu ele alınmıştır. (Birim) Rampa fonksiyonu kontrol sistemlerinin giriş/çıkış değerlendirmesinde sıklıkla kullanılır ve Denklem 6'daki gibi ifade edilir.

$$r_A(t) = \begin{cases} t, & t \in A \\ 0, & t \notin A \end{cases} \quad (6)$$

Burada $A = (0,1]$ fonksiyonun tanım aralığı olup t zamanla artan bir değeri, $r(t)$ ise buna karşılık gelen değerleri ifade etmektedir. Şekil 3 ve 4 birim rampa fonksiyonunun sırasıyla $\alpha=0.3$ ve $\alpha=0.8$ değerlerindeki türevlerini göstermektedir. Birim rampa fonksiyonun birinci dereceden türevi 1 iken şekillerden de görüleceği üzere kesirli türevler farklı sonuçlar üretmektedir. Şekil 3 detaylı incelendiğinde hem türev değerlerinin hem de analitik çözümün birbiriyle neredeyse aynı eğriler üzerinde olduğu görülmektedir. Ancak detaylı aralık incelemesi yapıldığında analitik çözüm ve değerler arasında küçük hatalar bulunmaktadır. Bu hatalara dair sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Rampa fonksiyonu $\alpha =0.3$ türevi; $f(t)$ orijinal fonksiyon, AN analitik, GL Grünwald Letnikov, RL Riemann Liouville çözümleri

Tablo 1. Step fonksiyonu $\alpha = 0.3$ için farklı yöntemlere göre elde edilen türevlerin analitik çözüme göre hata karşılaştırılması

Adım aralığı	Metot	Hata değerleri				
		k=0.2	k=0.4	k=0.6	k=0.8	k=1
0.01	GL	0.0065	0.0027	0.0016	0.0011	0.0008
	RL	0.0268	0.0111	0.0066	0.0046	0.0034
0.001	GL ($\times 10^{-3}$)	0.6551	0.2661	0.1571	0.1081	0.0809
	RL ($\times 10^{-3}$)	2.7951	1.1380	0.6723	0.4628	0.3463

Tablo 2. Step fonksiyonu $\alpha = 0.8$ için farklı yöntemlere göre elde edilen türevlerin analitik çözüme göre hata karşılaştırılması

Adım aralığı	Metot	Hata değerleri				
		k=0.2	k=0.4	k=0.6	k=0.8	k=1
0.01	GL	0.0032	0.0009	0.0004	0.0003	0.0002
	RL	0.0443	0.0131	0.0064	0.0038	0.0026
0.001	GL ($\times 10^{-3}$)	0.3158	0.0907	0.0437	0.0260	0.0174
	RL ($\times 10^{-3}$)	4.7033	1.3554	0.6540	0.3899	0.2610

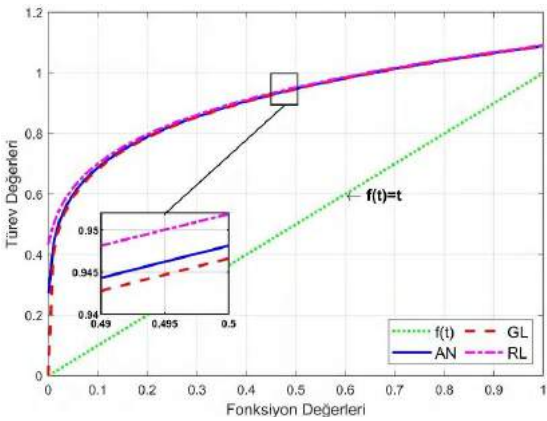
Tablo 3. Rampa fonksiyonu $\alpha = 0.3$ için farklı yöntemlere göre elde edilen türevlerin analitik çözüme göre hata karşılaştırılması

Adım aralığı	Metot	Hata değerleri				
		k=0.2	k=0.4	k=0.6	k=0.8	k=1
0.01	GL	0.0019	0.0015	0.0013	0.0012	0.0012
	RL	-0.0124	-0.0101	-0.0090	-0.0082	-0.0077
0.001	GL ($\times 10^{-3}$)	0.1872	0.1521	0.1347	0.1235	0.1155
	RL ($\times 10^{-3}$)	-1.2476	-1.0137	-0.8977	-0.8236	-0.7703

Tablo 4. Rampa fonksiyonu $\alpha = 0.8$ için farklı yöntemlere göre elde edilen türevlerin analitik çözüme göre hata karşılaştırılması

Adım aralığı	Metot	Hata değerleri				
		k=0.2	k=0.4	k=0.6	k=0.8	k=1
0.01	GL	0.0032	0.0018	0.0013	0.0010	0.0009
	RL	-0.0077	-0.0045	-0.0033	-0.0026	-0.0022
0.001	GL ($\times 10^{-3}$)	0.3158	0.1814	0.1311	0.1042	0.0871
	RL ($\times 10^{-3}$)	-0.7878	-0.4529	-0.3276	-0.2603	-0.2177

Benzer bir inceleme türevin 0.8 seçilmesi ile elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 4'te detaylıca gösterilmiştir. Şekil 4'ten de görüleceği üzere analitik çözümler ve yöntemler birbirine göre neredeyse aynı sonuçları üretmektedir. Analitik çözüm ve yöntemler arasındaki fark Tablo 4'te gösterilmiştir.



4. Sonuç

Bu çalışma kontrol teorisinde sistemlerin giriş/çıkış tepkilerinin incelenmesi konusunda sıklıkla kullanılan birim basamak ve birim rampa fonksiyonlarının kesirli dereceden türevlerinin bulunması ve bulunan bu çözümlerin analitik yöntemlere göre hatalarının incelenmesi ve değerlendirilmesi üzerinedir. Bu kapsamda ilgili fonksiyonlar oluşturularak iki farklı (0.3 ve 0.8) türev mertebesi için sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde FOTF yazılımının sunduğu GL ve RL fonksiyonlarının analitik çözümlere çok yakın değerler ürettiği gözlemlenmiştir. Her iki yöntem de kabul edilebilir aralıkta hata ile çalışmaktadır. Özellikle GL yönteminde analitik çözüme çok yakın değerler üretilebilmektedir. Her iki yöntem için de adım aralığının artırılması hatanın düşmesine sebep olmaktadır. Adım aralıkları 0.01 ve 0.001 için algoritmaların çalışma süreleri arasında dikkate çarpan bir fark gözlemlenmemiştir. Ancak adım aralığının daha da küçük seçildiği durumlar incelendiğinde algoritma çalışma hızı yavaşlamış ancak hata değerleri de düşmüştür. Bu durum sistem tasarımı/kontrolünde bu araçlar kullanılırken göz alınması gereken bir husustur.

Şekil 4. Rampa fonksiyonu $\alpha = 0.8$ türevi; $f(t)$ orijinal fonksiyon, AN analitik, GL Grünwald Letnikov, RL Riemann Liouville çözümleri

Kaynakça

- Al-Dhaifallah, M., Nassef, A. M., Rezk, H., & Nisar, K. S. (2018). Optimal parameter design of fractional order control based INC-MPPT for PV system. *Solar Energy*, 159, 650-664.
- Chen, D., Sun, S., Zhang, C., Chen, Y., & Xue, D. (2013). Fractional-order TV-L 2 model for image denoising. *Central European Journal of Physics*, 11(10), 1414-1422.
- Cruz-Duarte, J. M., Rosales-Garcia, J., Correa-Cely, C. R., Garcia-Perez, A., & Avina-Cervantes, J. G. (2018). A closed form expression for the Gaussian-based Caputo-Fabrizio fractional derivative for signal processing applications. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 61, 138-148.
- Kumar, S., Saxena, R., & Singh, K. (2017). Fractional Fourier transform and fractional-order calculus-based image edge detection. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 36(4), 1493-1513.
- Ma, C. Y., Shiri, B., Wu, G. C., & Baleanu, D. (2020). New fractional signal smoothing equations with short memory and variable order. *Optik*, 218, 164507.
- Machado, J. T., & Lopes, A. M. (2019). Fractional-order modeling of a diode. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 70, 343-353.
- Muñoz-Vázquez, A. J., Gaxiola, F., Martínez-Reyes, F., & Manzo-Martínez, A. (2019). A fuzzy fractional-order control of robotic manipulators with PID error manifolds. *Applied soft computing*, 83, 105646.
- Saçu, İ. E., & Korkmaz, N. (2021). Fraksiyonel Dereceli Kaotik Lorenz Sistemi'nin Devre Sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 42-46.
- Soukkou, A., Belhour, M. C., & Leulmi, S. (2016). Review, design, optimization and stability analysis of fractional-order PID controller. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 8(7), 73.
- Tepljakov, A. (2011). Fractional-order calculus based identification and control of linear dynamic systems. *Tallinn University of Technology*.
- Tepljakov, A., Alagoz, B. B., Yeroglu, C., Gonzalez, E. A., Hosseinnia, S. H., Petlenkov, E., ... & Cech, M. (2021). Towards Industrialization of FOPID Controllers: A Survey on Milestones of Fractional-Order Control and Pathways for Future Developments. *IEEE Access*, 9, 21016-21042.
- Valsa, J. (2011). Numerical inversion of Laplace transforms in MATLAB. *MATLAB Central File ID*, 32824.
- Wang, B., Li, S. E., Peng, H., & Liu, Z. (2015). Fractional-order modeling and parameter identification for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 293, 151-161.
- Xue, D., & Chen, Y. (2015). *Modeling, analysis and design of control systems in MATLAB and Simulink*. World Scientific Publishing.
- Xue, D. (2017). *Fractional-order control systems*. de Gruyter.



Sürekli Uzayda Tesis Yeri Seçimi İçin Matematiksel Model: p -Medyan Problemi

Melike Kübra Ekiz Bozdemir^{1*}, Selen Avcı², Celal Özkale³

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3340-0484), melike.ekiz@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7433-5696), selen.avci@kocaeli.edu.tr

³ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0115-0505), cozkale@kocaeli.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1001560)

ATIF/REFERENCE: Ekiz Bozdemir, M. K., Avcı, S., & Özkale, C. (2021). Sürekli Uzayda Tesis Yeri Seçimi İçin Matematiksel Model: p -Medyan Problemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 386-390.

Öz

Günümüzün rekabetçi ortamında organizasyonların önem vermesi gereken stratejik kararlardan biri de tesis yer seçimi problemidir. Tesis yer seçimi problemlerinden biri olan p -medyan problemi, n adet düğüm noktasını kullanarak p tane tesisin konumunu, düğüm noktaları ile tesisler arasındaki taşımalarla kaynaklanan maliyetin minimize edilmesini sağlayarak elde etmeyi amaçlamaktadır. Bir diğer ifade ile p -medyan problemi p adet tesisin hangi aday bölgelere kurulacağını ve hangi müşterilerin hangi tesise atanacağını belirlemesi problemidir. Problemden düğüm noktalarının talepleri sabit, hizmete sunulan tesislerin sayısı ve konumlarının bilindiği varsayıldığından problem kesikli uzayda tesis yer seçimi problemi içerisinde sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada ise p -medyan probleminde yer alan alternatif tesislerin konumlarının bilinmediği varsayılmış ve Karar Verici (KV) tarafından belirlenmiş olan p adet tesisin konumu matematiksel model yardımı ile elde edilmiştir. Sürekli uzayda tesis yer seçimi problemi olarak adlandırılan bu problem için Karesel Öklid uzaklığı kullanılarak doğrusal olmayan matematiksel model ele alınmıştır. Matematiksel modelin çözümü için GAMS 22.5 programı BARON çözücüsünden yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tesis Yeri Seçimi, Sürekli Uzayda Tesis Yeri Seçimi, P -Medyan Problemi, Matematiksel Model, Doğrusal Olmayan Programlama.

Mathematical Model for Facility Location Problems in Continuous Space: p -Median Problem

Abstract

In our world where competition is increasing day by day, one of the strategic decisions that organizations should pay attention to is facility location problem. The p -median problem, which is one of the facility location problems, aims to obtain the location of p facilities by using n nodes to aim minimizing the cost of transportation between the nodes and the facilities. In other words, the p -median problem determine in which p facilities will be constructed and which customers will be assigned to which facility. The problem is classified as a facility location problem in discrete space, since it is assumed that the demands of the nodes are fixed, and the number and locations of the facilities are known. In this study, it is assumed that the locations of the alternative facilities are not known, and the locations of the p facilities determined by the Decision Maker (DM) are obtained with a mathematical model. For this problem, which is called the facility location problem in continuous space, a nonlinear mathematical model is considered by using Euclidean Squared distance. The GAMS 22.5 program and BARON solver were used to solve the nonlinear mathematical model.

Keywords: Facility Location, Facility Location in Continuous Space, P -Median Problem, Mathematical Model, Nonlinear Mathematical Programming.

* Sorumlu Yazar: melike.ekiz@kocaeli.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde firmalar arası rekabetin artması nedeniyle işletmelerin ayakta kalabilmesi ve büyüyebilmesi için maliyetlerini azaltmaları bir gerekliliktir. Firmaların en büyük maliyet kalemlerinden birisi lojistik maliyetleridir. Lojistik maliyetleri içerisinde; depolama, taşıma, geç teslimat, servis, stok bulundurma vb. maliyetler yer almaktadır. Bu maliyetlerin birçoğu tesis yeri seçimi ile doğrudan veya dolaylı olarak ilgilidir. Gerçek hayatta karşımıza çıkan tesis yeri seçimi problemlerinde dikkate alınması gereken birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar arasında; hammadde kaynaklarının, işgücünün, ulaştırma olanaklarının, enerji kaynaklarının, yan sanayinin şimdiki ve gelecekteki durumu ile talep ve dağıtım olanakları açısından pazarın elverişliliği sayılabilir (Karaoğlan, 2019).

Tesis yeri seçimi, n adet tesisin m adet ($n < m$ olmak üzere) konuma taşıma maliyetlerinin minimize edilecek şekilde atanması problemi olarak tanımlanabilir. Tesis yeri seçim problemi, tesis yerinin kesikli veya sürekli uzayda olma durumuna göre sınıflandırılmaktadır. Sürekli uzayda tesis yeri seçimi probleminde, açılacak olan tesisler ve talepleri karşılanacak müşteriler düzlemde herhangi bir veya birden fazla noktaya yerleştirilir. Kesikli uzayda tesis yeri seçim probleminde ise tesislerin ve müşterilerin belirli düğüm noktalarına yerleştirilmesi söz konusudur. Bir diğer ifade ile sürekli uzayda tesis yeri seçim probleminde alternatif tesislerin konumları belirsiz iken kesikli uzayda tesis yeri seçim probleminde alternatifler ve konumları Karar Verici (KV), uzmanlar vb. tarafından belirlenmiştir. Kesikli uzayda tesis yeri seçim probleminde örnek olarak p -medyan, p -merkez, istenmeyen tesis yeri seçimi, küme kapsama, ana dağıtım üssü seçim problemi, maksimum kapsama ve sabit maliyetli tesis yer seçimi verilebilir (Bastı, 2012).

Çalışmamızda kesikli tesis yeri seçim problemlerinden biri olan p -medyan problemi ele alınmıştır. p -medyan problemi, açılması istenen p tane tesisin n tane müşteri (talep) noktasına olan uzaklıklarını en küçükleyecek şekilde açılması ve açılan bu tesislere müşterilerin atanmasını sağlayan doğrusal modele sahip bir problemdir. Bu problemde, tesis ve müşterilerin konumları belirlidir. Çalışmada ele alınan problemde ise tesis konumlarının belirsiz olduğu varsayılarak geliştirilen doğrusal olmayan matematiksel model ile alternatif tesis yerlerinin konumları belirlenmiş ve amaç fonksiyonunu en küçükleyecek p adet tesis açılmıştır. Son olarak müşteriler, talepleri karşılanacak şekilde açılmış olan tesislere atanmıştır. Geliştirilen doğrusal olmayan p -medyan probleminin amaç fonksiyonu, müşteriler ile tesisler arasındaki mesafeyi minimize etmeyi amaçlamaktadır. Müşteriler ile tesisler arasındaki mesafe karesel öklid uzaklığı ile incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde p -medyan probleminde, üçüncü bölümünde ise doğrusal olmayan programlamaya sahip p -medyan probleminde yer verilmiştir. Bölüm 4'te literatürden alınan veri seti, çalışma kapsamında geliştirilmiş olan matematiksel model doğrultusunda yeniden formüle edilerek çözüme ulaştırılmıştır. Çözüm için GAMS 22.5 paket programından ve BARON çözücüsünden yararlanılmıştır. Bölüm 5'te ise GAMS çıktılarına ve sonuçlara yer verilmiştir.

2. Metot

2.1. P -Medyan Problemi

Tesis yeri seçim problemi, öncelikle büyük bir yatırım gerektirmesinden dolayı KV için önemli bir problemdir. Ayrıca problemde göz önüne alınması gereken birçok etken bulunmaktadır. Örneğin; tesisin kurulması için seçilen yerin müşterilere, tedarikçilere, depolara, pazara vb. olan uzaklıkları, gelecekteki işgücü durumu, yeryüzü şekilleri gibi etkenler sıralanabilir. Tesis yeri seçim problemi içerisinde yer alan kesikli uzayda tesis yeri seçim problemi genel olarak tesislerin belirlenen noktalara veya harita üzerinde istenilen noktaya yerleştirilmesi ve müşterilerin bu tesislere atanması problemi olarak tanımlanabilir. Kesikli uzayda tesis yeri problemlerinden biri olan p -medyan problemi ise n adet müşterinin taleplerini karşılamak koşuluyla genellikle amaç fonksiyonunu en küçükleyecek şekilde p adet tesisin açılması ve açılan bu tesislere müşterilerin atanması problemidir (Hillsman, 1984). Burada amaç fonksiyonu genellikle uzaklığın, maliyetin vb. en küçüklenmesi iken önceden belirlenmiş p adet tesisin açılması söz konusudur. Doğrusal modele sahip p -medyan problemi ilk olarak 1964 yılında Hakimi tarafından tanımlanmış ve literatürde kendisine yer bulmuştur (Church, 2008). Aşağıda doğrusal programlama modeline sahip p -medyan problemi yer almaktadır. Burada $k (\forall k \in K)$ potansiyel tesisleri ifade ederken $i (\forall i \in I)$ ise müşterileri ifade etmektedir.

Parametreler:

$$w_i = i \text{ müşterisinin talebi}$$

$$d_{ik} = i \text{ müşterisinin } k \text{ tesisine olan uzaklığı}$$

$$c_{ik} = i \text{ müşterisinin } k \text{ tesisine taşıma maliyeti}$$

Karar değişkenleri:

$$y_k = \begin{cases} 1 & k \text{ potansiyel bölgeye tesis kurulursa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & i \text{ müşterisi } k \text{ tesisine atanırsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Doğrusal programlama modeline sahip p -medyan problemi Denklem (1), (2), (3), (4), (5) ve (6)'da verilmiştir.

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} w_i d_{ik} c_{ik} x_{ik} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_{ik} \leq y_k, \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} y_k = P \quad (4)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (5)$$

$$y_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K \quad (6)$$

Burada amaç fonksiyonu, müşteriler ile tesisler arasındaki uzaklık ve taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. 2 numaralı kısıtta her bir müşterinin bir tesise atanması sağlanmıştır. 3 numaralı kısıt, ancak ve ancak bir tesis açılmış ise müşteri ataması gerçekleştirileceğini aksi durumda müşterinin atanamayacağını ifade etmektedir. 4 numaralı kısıtta ise KV tarafından hizmet verilmesi istenilen sayıda tesisin açılması sağlanmaktadır. Son olarak 5 ve 6 numaralı kısıtlar ise işaret kısıtlarıdır. Tesis yer seçimi problemleri içerisinde gerçek hayatta en sık karşılaşılan problemlerden biri olan p -medyan problemi literatürde de sıklıkla çalışan problemlerden biri olmuştur. Narula, Ogbu ve Sam (Narula, Ogbu, & Sam, 1977) tarafından gerçekleştirilen çalışmada dal-sınır algoritması ile p -medyan problemi çözüme kavuşturulmuştur. Serra ve Marianov (Serra & Marianov, 1998) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise belirsizlik altında p -medyan problemi ele alınmıştır. Talep, seyahat süresi veya mesafelerdeki belirsizlikler altında yeni tesislerin tespit edilmesi için oluşturulan model ile senaryolar kurulmuş ve mümkün olan en iyi performansla sahip konumun seçilmesi istenmiştir. An, Zeng, Zhang ve Zhao (An, Zeng, Zhang, & Zhao, 2014) ise gerçekleştirdikleri çalışmada talep değişikliklerini dikkate aldıkları iki aşamalı bir model önermişlerdir.

NP-zor sınıfına giren p -medyan problemi küçük boyutlu problemler için kesin yöntemlerle çözülebilmekte fakat problemin boyutu arttıkça optimal çözüm elde edilememektedir. Bundan dolayı sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler ile çözümler elde edilmeye çalışılmıştır (Mladenovic, Brimberg, Hansen, & Moreno-Perez, 2007). Alp ve Erkut (Alp & Erkut, 2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada tesis yer seçimi problemi Genetik Algoritma (GA) kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur. Rolland, Schilling ve Current (Rolland, Schilling, & Current, 1996) ise p -medyan problemi için Tabu Arama (TA) sezgiselinden yararlanmışlardır. Domínguez ve Muñoz (Domínguez & Muñoz, 2008) ise p -medyan problemini çözüme kavuşturmak için Yapay Sinir Ağlarını (YSA) kullanmışlardır. Resende ve Werneck (Resende & Werneck, 2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise hibrit bir sezgisel geliştirilerek problem çözüme kavuşturulmuştur. Özçakar ve Bastı (Özçakar & Bastı, 2012) ise sürü zekası tabanlı bir metasezgisel olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılmıştır.

Durak ve Yıldız (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada alternatif tesislerin seçimi için iki farklı model ele alınmıştır. Firmanın mevcut tesisinin de göz önüne alındığı birinci

modelde maliyet eğrisi oluşturularak optimum tesis sayısı bulunmuştur. Mevcut tesisinin dikkate alınmadığı ikinci modelde ise farklı tesis sayılarının denenmesi sonucu oluşan maliyetler karşılaştırılmıştır. Hazırcı ve Şahin (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada geçici iskân alanlarının seçimi için öncelikle Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile alternatif alanlar belirlenmiş ve bu alanlara ilgili mahalleler p -medyan modeli ile atanmıştır. Erşen ve Sel (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise alternatif tesislerin müşterilere atanmasında maliyetin yanı sıra karbon salınım miktarı da göz önüne alınmış ve böylelikle daha çevreci tesis yeri önerilerinde bulunulmuştur.

2.1. Doğrusal Olmayan Programlamaya Sahip P -Medyan Problemi

Hakimi tarafından tanımlanmış olan temel p -medyan problemi ve ilgili probleme ait matematiksel model Bölüm 2'de anlatılmıştır. Bu bölümde ise çalışma kapsamında geliştirilen doğrusal olmayan programlamaya sahip p -medyan problemine yer verilmiştir.

Doğrusal olmayan programlamaya sahip p -medyan probleminde, alternatif tesislerin konumları bilinmemekte bir diğer ifade ile alternatif tesisler KV tarafından belirlenmemektedir. Bu çalışmada geliştirilen matematiksel model ile alternatif tesislerin konumları belirlenmekte ve KV'ye sunulmaktadır. Model ile elde edilen tesisler ile müşteriler arasındaki uzaklığın minimize edilmesi için karesel Öklid uzaklığı tercih edilmiştir. Ayrıca müşteriler alternatif tesislere talepleri doğrultusunda atanmaktadır. Müşterilerin talepleri kadar tesislerin kapasitesi de tesis yeri seçim probleminde önemli bir husustur (Reese, 2006). Tesis yeri seçim probleminde önemli olan bir diğer husus ise tesislerin yatırım maliyetidir (Dantrakul, Likasiri, & Pongvuthithum, 2014). Bundan dolayı çalışmada tesis kapasitesini ve yatırım maliyetlerini de içeren bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Aşağıda çalışma kapsamında geliştirilmiş olan doğrusal olmayan p -medyan problemine ve matematiksel modele eklenen parametre ve karar değişkenlerine yer verilmiştir.

Parametreler:

$$Q_k = k \text{ tesisinin kapasitesi}$$

$$f_k = k \text{ tesisinin yatırım maliyeti}$$

$$x_i = i \text{ müşterisinin } x \text{ koordinatı}$$

$$y_i = i \text{ müşterisinin } y \text{ koordinatı}$$

Karar Değişkenleri:

$$xt_k = k \text{ tesisinin } x \text{ koordinatı}$$

$$yt_k = k \text{ tesisinin } y \text{ koordinatı}$$

$$\text{Min } z = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} w_i [(x_i - xt_k)^2 + (y_i - yt_k)^2] * x_{ik} + \sum_{k \in K} f_k y_k \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1, \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} w_i x_{ik} \leq Q_k y_k, \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} y_k \leq P \quad (10)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (11)$$

$$y_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$xt_k, yt_k \geq 0, \quad \forall k \in K \quad (13)$$

Burada amaç fonksiyonu, müşteriler ile tesisler arasındaki uzaklık ve taşıma maliyetlerini minimize etmektedir. Alternatif tesisler ve müşteriler arasındaki mesafeyi minimize etmek adına karesel Öklid uzaklığından yararlanılmıştır. Ayrıca amaç fonksiyonuna kurulacak olan tesislerin yatırımları için gerekli olan yatırım maliyeti eklenmiştir. 8 numaralı kısıtta her bir müşterinin bir tesise atanması sağlanmıştır. 9 numaralı kısıt ile her bir tesisin belirli bir kapasiteye sahip olduğu ve tesise atanan müşteri taleplerinin en fazla tesisin kapasitesi kadar olabileceği ifade edilmektedir. 10 numaralı kısıt ile müşterilerin atanması sonucunda hizmet verebilen maksimum tesis sayısının, KV'ye alternatif olarak sunulmak istenilen tesis sayısı kadar olabileceği vurgulanmıştır. Son olarak 11, 12 ve 13 numaralı kısıtlar ise işaret kısıtlarıdır.

Çalışmada doğrusal olmayan programlamaya sahip p-medyan problemini çözmek için GAMS 22.5 paket programından yararlanılmıştır. Ele alınan problem karmaşık tam sayılı doğrusal olmayan programlama- MINLP (Mix Integer Non-linear Programing) matematiksel modeline sahiptir. MINLP matematiksel modeline sahip olan problemleri optimal çözüme kavuşturmak için geliştirilmiş olan BARON (Branch-And-Reduce Optimization Navigator) çözücü ile problem çözümü elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında literatürden alınmış olan örnek veri seti Tablo 1'de yer almaktadır. 10 müşteriden oluşan veri setinde, müşterilere ait x-y koordinatları ve talepleri bulunmaktadır.

Tablo 1. 10 müşteriye ait x-y koordinatları ve talepler

Müşteri	X Koordinatı	Y Koordinatı	Talep
M1	28	48	4
M2	37	2	8
M3	25	30	2
M4	21	62	6
M5	49	16	1
M6	90	51	3
M7	60	83	7
M8	97	94	1
M9	61	29	2
M10	97	96	6

Ele alınan örnek problemde alternatif tesis sayısı 4 olarak belirlenmiş ve bu alternatif tesisler içerisinde 3 tesisin hizmet sunması istenmiştir. Tesislerin ilgili müşterilere hizmet verebilmesi için gerekli olan yatırım maliyetleri sırası ile 250, 550, 100 ve 400 olarak belirlenmiştir. Ayrıca kurulması planlanan tesislerin mevcut kapasiteleri 25, 20, 20 ve 15'tir. MINLP e-ISSN: 2148-2683

matematiksel modeline sahip p-medyan problemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Tesis koordinatları ve tesislere atanan müşteriler

Açılan Tesis	X Koordinatı	Y Koordinatı	Atanan Müşteri
1	77,706	82,588	6, 7, 8, 10
3	24,000	52,000	1, 3, 4
4	42,455	8,182	2, 5, 9

Söz konusu örnekte alternatif 4 tesis içerisinde 1,3 ve 4 numaralı tesisler hizmete açılmıştır. 1 numaralı tesise 6, 7, 8, 10 numaralı müşteriler, 3 numaralı tesise 1,3,4 numaralı müşteriler atanır iken son olarak 4 numaralı tesise 2, 5, 9 numaralı müşteriler atanmıştır. Tesisler ve müşteriler arasındaki karesel Öklid uzaklığını ve tesis maliyetlerini göz önüne alan matematiksel modelin amaç fonksiyonu değeri ise 12694,011 olarak bulunmuştur.

4. Sonuç ve Öneriler

Tesis yer seçimi problemi gerek ciddi bir yatırım gerektirmesi açısından, gerekse lojistik maliyetlerini doğrudan ve dolaylı yollardan etkileyen ve uzun vadede olumlu ya da olumsuz etkilerini gösteren önemli bir karar problemidir. Firmalar arasındaki rekabetin artması sebebiyle müşteri odaklılığının önem kazandığı günümüz koşullarında, azalan hammadde kaynaklarına ve talep noktalarına yakınlık firmaların göz önünde bulundurması gereken en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada ise tesis yer seçimi problemlerinden biri olan ve gerçek hayatta da sıklıkla karşılaşılan p-medyan problemi ele alınmıştır. Doğrusal programlama modeline sahip p-medyan probleminde, müşterilerin atanacağı tesislerin bilgileri KV tarafından belirlenmektedir. Bu çalışmada ise alternatif tesislerin koordinatlarının matematiksel model yardımı ile KV'ye sunulması hedeflenmiştir. Bunun için MINLP matematiksel modeli geliştirilerek klasik tesis yer seçim problemlerinde alternatif tesis yerlerinin KV tarafından belirlenmesinin dışına çıkılarak, KV'ye alternatif tesisler sunulmak istenmiştir.

Ele alınan bu problem GAMS 22.5 paket programı BARON çözücüsü ile çözüme ulaştırılmıştır.

Çalışmamızda müşteri taleplerinin bilindiği varsayılarak model oluşturulmuştur. Gelecek çalışmalarda taleplerin belirsiz olduğu durum ele alınabilir. Ayrıca müşteriler ile tesisler arasındaki uzaklığın minimize edilmesi için karesel Öklid

uzaklığı dikkate alınmıştır. Gelecek çalışmalarda doğrusal, Manhattan veya Öklid uzaklıklarından da yararlanılabilir.

Kaynakça

- Alp, O., & Erkut, E. (2003). An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Annals of Operations Research*, 122, 21–42.
- An, Y., Zeng, B., Zhang, Y., & Zhao, L. (2014). Reliable p-median facility location problem: two-stage robust models and algorithms. *Transportation Research Part B*, 64, 54–72.
- Bastı, M. (2012). The P-median Facility Location Problem and Solution Approaches. *Online Academic Journal of Information Technology*, 3(3), 46-75.
- Church, R. L. (2008). BEAMR: An exact and approximate model for the p-median problem. *Computers & Operations Research*, 35, 417 – 426.
- Dantrakul, S., Likasiri, C., & Pongvuthithum, R. (2014). Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems. *Expert Systems with Applications*, 41(8), 3596-3604.
- Domínguez, E., & Muñoz, J. (2008). A neural model for the p-median problem. *Computers & Operations Research*, 35, 404 – 416.
- Durak, İ., & Yıldız, M. S. (2015). P- Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi: Bir Uygulama. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(2), 43-64.
- Erşen, M. A., & Sel, Ç. (2020). Türkiye’de Otomotiv Yan Sanayinde Çevreci Tesis Yeri Seçimi Problemi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(1), 202-209.
- Hazırcı, M., & Şahin, Y. (2019). Geçici iskân alanlarının seçimi için ahp temelli p-medyan modeli: Burdur örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 403 – 417.
- Hillsman, E. L. (1984). The p-median structure as a unified linear model for location-allocation analysis. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 16, 305-318.
- Karaoğlan, İ. (2019, 05 21). Kişisel Web Sitesi. <http://www.ismailkaraoglan.com/1203604.html> (2021,09 09)
- Mladenovic, N., Brimberg, J., Hansen, P., & Moreno-Perez, J. A. (2007). The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. *European Journal of Operational Research*, 179, 927–939.
- Narula, S. C., Ogbu, U. I., & Sam, H. M. (1977). Narula, S. C., Ogbu, U. Technical Note—An algorithm for the p-Median Problem. *Operations Research*, 25(4), 541-724.
- Özçakar, N., & Bastı, M. (2012). P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 41(2), 241-257.
- Reese, J. (2006). Solution methods for the p-median problem: An annotated bibliography. *Networks*, 48(3), 125-142.
- Resende, M. G., & Werneck, R. F. (2004). A Hybrid Heuristic for the p-Median Problem. *Journal of Heuristics*, 10, 59–88.
- Rolland, E., Schilling, D. A., & Current, J. R. (1996). An efficient tabu search procedure for the p-Median Problem. *European Journal of Operational Research*, 96, 329-342.
- Serra, D., & Marianov, V. (1998). The p-median problem in a changing network: the case of Barcelona. *Location Science*, 6(4), 383-394.



Inter-laboratory Pressure Comparison Measurement In Gas Medium at ± 150 hPa Range

Yasin Durgut ^{1*}, Recep Yilmaz ² and Abdullah Hamarat ³

^{1*} TUBITAK National Metrology Institute (TUBITAK UME), Turkey, Kocaeli, Turkey, (ORCID ID 0000-0001-8901-4166), yasin.durgut@tubitak.gov.tr

² TUBITAK National Metrology Institute (TUBITAK UME), Turkey, Kocaeli, Turkey, (ORCID ID 0000-0002-0538-8011), yilmaz.recep@tubitak.gov.tr

³ TUBITAK National Metrology Institute (TUBITAK UME), Turkey, Kocaeli, Turkey, (ORCID ID 0000-0003-1324-7750), abdullah.hamarat@tubitak.gov.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1001930)

ATIF/REFERENCE: Durgut, Y., Yilmaz, R. & Hamarat, A. (2021). Inter-laboratory Pressure Comparison Measurement In Gas Medium at ± 150 hPa Range. *European Journal of Science and Technology*, (28), 391-394.

Abstract

Results of interlaboratory comparisons and proficiency tests are a significant parameter for the calibration and testing laboratories for assuring the quality of test and calibration results performed by those laboratories. Accredited and non-accredited laboratories that have a quality system for their working areas are expected to join into inter-comparisons and proficiency tests in certain periods to show a degree of equivalence among the participant laboratories and assure their service quality. The necessity of participating in comparison measurements (ILC) and proficiency tests (PT) are stated in the EN ISO/IEC 17025:2017 International Standard that accredited laboratories or laboratories applying for accreditation must participate in ILC and PT from parameters related to measurement quantities within the scope of accreditation and have achieved successful results, and it is also a requirement sought by accreditation bodies.

This study gives the organisation steps and the obtained results of a bilateral pressure comparison measurement of digital pressure gauge in the hydraulic medium between UME and an accredited laboratory in industry between ± 150 hPa.

Keywords: Pressure, comparison, calibration, ISO17025, uncertainty, degree of equivalence.

± 150 hPa Gas Ortamda Laboratuvarlararası Basınç Karşılaştırması

Öz

Laboratuvarlar arası karşılaştırmalar ve yeterlilik testleri sonuçları, kalibrasyon ve test laboratuvarları için, bu laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilen test ve kalibrasyon sonuçlarının kalitesini güvence altına almak için önemli bir parametredir. Çalışma alanları için kalite sistemi olan akredite ve akredite olmayan laboratuvarların, katılımcı laboratuvarlar arasında bir dereceye kadar eşdeğerlik göstermek ve hizmet kalitesini güvence altına almak için belirli periyotlarda karşılıklı karşılaştırma ve yeterlilik testlerine katılması beklenmektedir. Karşılaştırmalı ölçümlere (ILC) ve yeterlilik testlerine (PT) katılmanın gerekliliği EN ISO/IEC 17025:2017 Uluslararası Standardında, akredite laboratuvarların veya akreditasyon başvurusunda bulunan laboratuvarların, bünyesinde yer alan ölçüm miktarlarıyla ilgili parametrelerden ILC ve PT'ye katılması gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışma, UME ile endüstride akredite bir laboratuvar arasında ± 150 hPa arasında hidrolik ortamdaki dijital basınç ölçerin ikili basınç karşılaştırma ölçümünün organizasyon adımlarını ve elde edilen sonuçlarını vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Basınç, Karşılaştırma, Kalibrasyon, ISO 17025, Belirsizlik, Denklik derecesi.

1. Introduction

Measurement underpins a wide range of socio-economic activities, both domestic and international. The global market needs accurate and reliable measurements so that technical trade barriers can be minimized. In all sectors, the need for reliable measurement results that can be compared across space and time has never been greater. Reliable measurements depend critically on competent staff, validated and tested methods, comprehensive quality systems, and traceability to appropriate measurement references. Recognition of these requirements is underscored by the increasing adoption of standards and measurement quality systems, such as laboratory accreditation against EN ISO/IEC 17025:2017 (BS EN ISO/IEC 17025:2017). Inter-laboratory comparison measurements are an important parameter for the calibration/experimental laboratories' activities to ensure the test/calibration quality. Laboratories that offer their services within a quality system, especially laboratories that have received accreditation certificates, are expected to participate in multiple inter-laboratory comparisons, if possible, to demonstrate the service quality. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (BS EN ISO/IEC 17025:2017) standard specifies the general requirements for the competence, impartiality and consistent operation of laboratories. This standard applies to all organizations performing laboratory activities, regardless of the number of personnel. Laboratory customers, regulatory authorities, organizations and schemes using peer-assessment, accreditation bodies, and others use ISO/IEC 17025:2017 in confirming or recognizing the competence of laboratories.

It is stated in the ISO/IEC 17025:2017 that accredited laboratories or laboratories applying for accreditation must participate in inter-laboratory comparisons (ILC) from parameters related to measurement quantities within the scope of accreditation and have achieved successful results, and it is also a requirement sought by the Turkish Accreditation Agency TURKAK.

Proficiency testing involves the use of interlaboratory comparisons for the determination of laboratory performance. ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment - General requirements for proficiency testing (ISO/IEC 17043:2010) standard specifies general requirements for the competence of providers of proficiency testing schemes and the development and operation of proficiency testing schemes.

2. Material and Method

To respond to ILC need, a bilateral ILC measurement was organised and piloted by TUBITAK UME (National Metrology Institute of Turkey). The measurement result values of the UME, in other words, the measurement result values of the pilot laboratory, were taken as reference values for ILC. This situation is stated in the measurement technical protocol document, which was prepared and approved jointly by all participants before the start of ILC. In addition, this approved technical protocol includes all information such as how the ILC will be performed, who will attend, which test instrument or transfer standard (TS) will be used in the measurements, how and when the results will be sent to the pilot laboratory, how the results will be analyzed and how the final report will be prepared.

In ILC a pneumatic digital pressure gauge (TS) device was used with the pressure range of ± 150 hPa. ILC measurements were made by star type measurement method. Firstly, the initial measurement was performed by the pilot laboratory and TS was sent to the participant. After the participant laboratory completed its measurement, the TS was delivered to the pilot laboratory back. The pilot laboratory repeated the measurement with TS based on the technical protocol. The transportation of the TS was performed by a courier company. All measurements were done according to the ILC measurement schedule as agreed in the technical protocol (EURAMET Project 1131, 2009 EURAMET Project 1131, 2012). The star type method allowed us to determine the possible drifts between measurements if available during the ILC schedule.

Participating laboratory requested to perform its measurements with its available measurement system and measurement method and with his best measurement uncertainties declared or will be declared within the scope of accreditation. The data obtained as a result of the participant laboratory asked to send pilot for analysing.

Specifications of transfer standard (TS) that was used in interlaboratory comparison (ILC) measurements and ILC pressure points were given in Table 1. The TS was given in Fig. 1

Table 1. Transfer standard and measurement points

Transfer Standard	Digital pressure gauge
Measurement Range	± 150 hPa
Manufacturer	Rothenberger
Type	EM200
Serial Number	215B405
Basınç Ortamı	Pneumatic (gas)
Measurement points (hPa)	-15, -50, -75, -100, -150, 15, 50, 75, 100, 150



Fig.1 Transfer standard (TS)

3. Results and Discussion

Measurement results for participant laboratory at 150 hPa were given in Table 2.

Table 2. Results for participant laboratory at 150 hPa

Nominal pressure	Increasing direction		Decreasing direction	
	Error	U (k=2)	Error	U (k=2)
hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
15	0.6	0.3	0.6	0.3
50	0.3	0.2	0.2	0.2
75	0.5	0.3	0.4	0.3
100	0.1	0.8	0.1	0.8
150	0.1	0.8	0.1	0.8

Measurement results for participant laboratory at -150 hPa were given in Table 3.

Table 3. Results for participant laboratory at -150 hPa

Nominal pressure	Increasing direction		Decreasing direction	
	Error	U (k=2)	Error	U (k=2)
hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
-15	-0.1	0.3	-0.1	0.3
-50	-0.4	0.2	-0.4	0.2
-75	-0.7	0.2	-0.6	0.2
-100	-0.5	0.9	-0.5	0.9
-150	-0.3	0.8	-0.3	0.8

Results for the pilot laboratory were considered as reference values in the ILC. Reference values were provided in Table 4. and Table 5.

Table 4. Reference values up to 150 hPa

Nominal pressure	Increasing direction		Decreasing direction	
	Error	U (k=2)	Error	U (k=2)
hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
15	0.5	0.2	0.6	0.2
50	0.2	0.2	0.2	0.2
75	0.4	0.2	0.4	0.2
100	0.1	0.1	0.1	0.1
150	0.1	0.1	0.1	0.1

Table 5. Reference values up to -150 hPa

Nominal pressure	Increasing direction		Decreasing direction	
	Error	U (k=2)	Error	U (k=2)
hPa	hPa	hPa	hPa	hPa
-15	0	0.1	0	0.1
-50	-0.3	0.2	-0.2	0.2
-75	-0.5	0.1	-0.5	0.1
-100	0	0.1	0	0.1
-150	0	0.1	0	0.1

To decide if the results of a participant laboratory are successful and satisfactory, the pre-defined criteria En values were calculated for each calibration point. This calculation is based on ISO/IEC GUIDE 43=1:1997(E). If the En value of the laboratory is in the range of -1 to +1, the laboratory results are considered equivalent to the reference value. The declared expanded uncertainty value is the result of multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k=2, which gives approximately a 95% confidence level for the normal distribution. The En value was calculated using equation 1.

$$E_n = \frac{X_i - X_{ref}}{\sqrt{U_{(xi)}^2 + U_{(xref)}^2}} \quad (1) \text{ (ISO/IEC 17043:2010), [4]}$$

where;

E_n : Normalised error

X_i : Error for participant laboratory

X_{ref} : Error for reference (pilot) laboratory

$U_{(xi)}$: Expanded uncertainty for participant laboratory

$U_{(xref)}$: Expanded uncertainty for reference laboratory

En values were given in Table 6. The graph of En values of the accredited laboratory versus nominal pressure point is given in Fig 2.

Table 6. En values

Nominal pressure (hPa)	Increasing direction	Decreasing direction
15	0.27	0.11
50	0.20	0.02
75	0.24	0.07
100	0.01	0.01
150	0.05	0.04

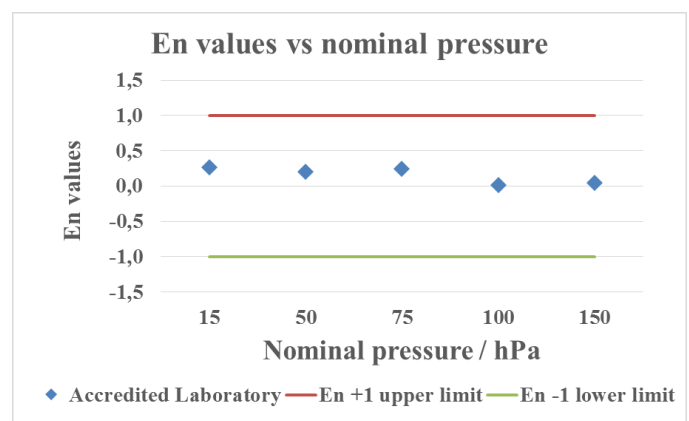


Fig.2 Transfer standard (TS)

A bilateral ILC was organized between TUBITAK UME and an accredited laboratory at the range of ±150 hPa pneumatic pressure to provide a degree of equivalence for participating laboratory. The transfer standard was a digital pressure gauge manufactured by Rothenberger, which was circulated without major problems in 2019 between the participants.

The reference value of the comparison has been considered based on the results of the pilot laboratory (Y. Durgut, 2012). The

stability of the transfer standard was analysed by measuring the TS by the pilot laboratory before and after the measurement of the participant during the comparison life cycle.

As a result of the evaluations and En results as given in Table 6. and in Fig.1 it was concluded that the participant laboratory measurement results provided the equivalence degree with those of the pilot reference laboratory. In other words, the equivalence was realised between the results of the pilot laboratory and those of the participant laboratory. Participant laboratory has ensured the quality and equivalence of its results to be provided to the customer in its calibration certificates (1).

4. Conclusions and Recommendations

As a result of organized bilateral ILC between TUBITAK UME and the accredited laboratory at the range of ± 150 hPa pneumatic pressure, the degree of equivalence was established successfully. It was proven that results for the participant laboratory were equal to the results for the pilot laboratory.

In addition, this ILC provided the participating laboratory with the opportunity to test and validate the reference device used in the ILC, the method is applied, and to evaluate the competence of the calibration operator who made the measurements. Besides, determine their necessities in terms of the technical employee, training, and improve measurement methods and measurement capabilities of the laboratory have other outcomes to participant laboratory.

References

BS EN ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, ISBN 978 0 539 01414 3, The British Standards Institution, 2018

ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment - General requirements for proficiency testing, Edition:1, by Technical Committee ISO/CASCO on conformity assessment, 2010-02

EURAMET Project 1131, Negative gauge pressure comparison, MIKES, 2009

EURAMET Project 1197, Supplementary bilateral comparison of hydraulic gauge pressure standards up to 50 MPa, TÜBİTAK UME, 2012.

Y. Durgut, The Evaluation Of Interlaboratory Comparison In Hydraulic Pressure Region, XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth September 9–14, 2012, Busan, Republic of Korea



IoT Tabanlı ve Makine Öğrenmesine Dayalı Seçici Sulama Sistemi

Harun Dolcel^{1*}, Mahmut Durgun², Levent Gökrem³

^{1*} Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9046-1377), harundolcel@gmail.com

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5010-687X), mahmut.durgun@gop.edu.tr

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2101-5378), levent.gokrem@gop.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1002401)

ATIF/REFERENCE: Dolcel, H., Durgun, M. & Gökrem, L. (2021). IoT Tabanlı ve Makine Öğrenmesine Dayalı Seçici Sulama Sistemi. *European Journal of Science and Technology*, (28), 395-401.

Öz

Nüfus artışı, kentleşme ve iklim değişikliği nedeniyle, özellikle tarım üzerinde olmak üzere su kaynakları için rekabetin artması beklenmektedir. Ülkemizde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.500 m³ civarında olduğu için su sıkıntısı bulunan ülke konumundayız. Bu yüzden var olan kısıtlı, kullanılabilir su kaynaklarının kullanılması konusunda tasarrufa gidip, kullanım konusunda dikkatli davranıp, özen göstermeliyiz. Planlanan bu çalışma çeşitli ürünlerin yetiştirildiği bahçelerde, toprağa ekilen ürünlerin çeşitliliğine uygun olarak her bir ürün için özel bir sulama reformu oluşturmak, su kaynaklarının etkin ve doğru kullanımıyla birlikte üretim verimliliğini artırmak için tarım tesislerindeki yeni yapı entegre veri toplama sistemi ve makine öğrenmesi sistemini sunmaktadır. 8 farklı ürün için nesnelere interneti tabanlı, uzaktan kontrollü ve yapay zekâya dayalı çok katmanlı sistemin tasarımı ve geliştirilmesini sunmaktadır. Çok katmanlı sistem, kırsal ortamlarda bilgi keşfi ve karar verme için kablosuz sensör ağlarından gelen bilgileri yönetir. Önerilen çok katmanlı sistem, kırsal bir ortamda gerçekleştirilen faaliyetlerde karar vermek için sensörler tarafından toplanan verileri analiz etmemize olanak tanıyarak ürünlerin sulanmasında en az su kullanımı ile en iyi verimi almayı hedeflemektedir. Su, israf edilmemesi gereken kıt bir doğal kaynak olduğundan, önerilen sistemle ürün çeşidine göre sulama yapılması, canlı veri takibinin yapılması ve tüm bu verilere herhangi bir yerden mobil cihazlar veya bilgisayar üzerinden takibi ve kontrolü amaçlanmaktadır. Çalışmada yer alan cihazların her türlü arazi ortamında çalıştırılması düşünülmüştür. Bu kapsamda proje kullanılacak olan tüm enerji ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynakları (Güneş Fotovoltaik) üzerinden sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Seçici Sulama, Makine Öğrenmesi, Uzaktan İzleme, Fotovoltaik Enerji.

Selective Irrigation System Based On IoT And Machine Learning

Abstract

Due to population growth, urbanization and climate change, competition for water resources, especially over agriculture, is expected to increase. Since the annual amount of usable water per capita in our country is around 1,500 m³, we are in the position of a country with water shortage. That's why we have to save money on the use of limited, usable water resources and be careful about using them. This planned study presents a new structure integrated data collection system and machine learning system in agricultural facilities in order to create a special irrigation reform for each product in accordance with the variety of products planted in the soil, in the gardens where various crops are grown, and to increase production efficiency with the effective and correct use of water resources. In the study, it presents the design and development of an internet-based, remote-controlled and artificial intelligence-based multi-layer system for 8 different products. The multi-layer system manages information from wireless sensor networks for information discovery and decision making in rural environments. The proposed multi-layer system allows us to analyze the data collected by the sensors to make decisions in activities carried out in a rural environment, aiming to get the best efficiency with the least water use in irrigating the crops. Since water is a scarce natural resource that should not be wasted, the proposed system aims to irrigate according to the type of product, to monitor live data, and to monitor and control all these data from anywhere via mobile devices or computers. The devices in the system are intended to be operated in all kinds of terrain. In this context, all energy needs to be used in the project will be realized through renewable energy sources (Solar Photovoltaic).

Keywords: Selective Irrigation, Machine Learning, Remote Monitoring, Photovoltaic Energy.

* Corresponding Author: hdolcel@gmail.com

1. Giriş

Dünyadaki nüfus artışı, şehirleşme ve iklim değişikliği, içilebilir su ve özellikle tarım üzerinde olmak üzere su kaynakları için rekabetin artması beklenmektedir. Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 10 milyarı aşması bekleniyor ve ister şehir yaşamında ister kırsal yaşam olsun, bu nüfusun yaşamını sürdürebilmesi için temel gıda ihtiyacı olacaktır. Her geçen gün artan dünya nüfusunun artışına eşlik eden yüksek kalorili yiyecekler ve hazır gıda tüketiminin neticesinde tarım ürünlerine olan talebin 2050 yılına kadar yaklaşık %70 oranında artması gerektiği tahmin edilmektedir.(Baştuğ, 2014)

Bununla birlikte, gelecekte suya olan talebin artması, özellikle su sıkıntısı çeken bölgelerde tarımsal faaliyetlerle birlikte suyun %25 ile %40' ının düşük verimlilikte kullanılması sonucu tarladan çıkan ürünlerde azalma meydana getirecektir.(Kalkınma bakanlığı, 2018) Özellikle tarımsal sulama da suyun bilinçsiz kullanımı tarım arazilerinde verim kaybına neden olacaktır. . Şu anda tarım arazilerinde kullanıma sulama suyu, küresel olarak çekilen tüm tatlı suyun %70'inden fazlasını kapsamaktadır.(Tatlı & Amerika, 2000)

Yanlış sulama uygulamaları özellikle tarıma dayalı ekonomiye sahip ülkelerin, tarımsal ürünlerde de dışa bağımlı hale gelmelerinin sağlayacaktır. Bu durum ülke için gıda fiyatlarının kura bağlı olarak artmasını, beraberinde enflasyonu ve toplumsal yoksullaşmayı doğuracaktır. Bu bağlamda, tarımsal üretimde, yüksek teknolojili içerikli akıllı tarım uygulamaları, tarımsal gelire sahip ülkelerdeki büyüme için yeni stratejik bir role sahip olmaya başlamıştır.(Kılavuz & Erdem, 2019)

Türkiye’de şu an 112 milyar m³ kullanılabilir su kaynağının bulunmaktadır. Bu sudan yararlanma oranı yaklaşık %39 olup, 32 milyar m³ ’ü tarımsal sulama, 7 milyar m³ ’ü hane halkının içme ve diğer kullanımları, 5 milyar m³ ’ü ise sanayi tesisleri için kullanılmaktadır. Türkiye’deki su kaynaklarının kullanıma bakıldığında, su kaynaklarının yaklaşık %73’ü tarımsal sulama, %11’i endüstri, %16’sı evsel tüketim için kullanılmaktadır. Su kullanım durumu Dünyada %70 tarımsal sulama, %22 endüstri ve %8 kentsel kullanımdadır, Avrupa’da ise %33 tarımsal sulama, %51 endüstri ve %16’sı kentsel kullanım içindir. (Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2018)

Ülkemizin 2019-2023 yılı kalkınma planında yer alan “416.4. Akıllı tarım teknolojileri başta olmak üzere yenilikçi ve çevreci üretim teknikleri geliştirilecek ve desteklenecektir”.ifadesiyle tarım alanında yapılacak olan akıllı teknolojilerin geliştirilmesi ve desteklenmesi hedeflenmektedir.(Kalkınma bakanlığı, 2018)

Bilinçsiz sulama su kaynaklarının azalmasına neden olurken bitkilerinde elde edilecek olan verimin düşmesine sebep olmaktadır. Bitkilerin özellikle büyüme süresi boyunca bitki kök bölgesinde yeterli düzeyde nemin bulunması bitki gelişimi açısından çok önemlidir. Bitkinin ihtiyacından az ya da çok olan toprak nemi verimliliği etkilemektedir.(Dorak et al., 2019)

Çalışmanın temel odak noktası, tarım alanlarında ki su kaynaklarının verimli kullanılması ve yetiştirilen ürünlerden

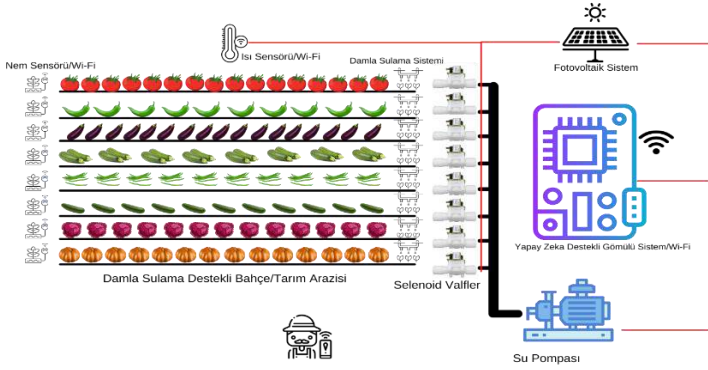
azami düzeyde verimlilik sağlayacak akıllı ve bitkiye özgü seçici sulama sistemi oluşturmak.

Çalışmada çevresel veriler sensörler aracılığı ile elde edilecektir. Bu veriler tam olarak netlik kazanmasa da çalışmamız için planlanan ve sensörler ile ölçülecek olan fiziksel büyüklükler; toprak nem miktarı, hava sıcaklığı, hava nem miktarı. Ayrıca kullanıcı aracılığı ile girilecek veriler; bitkinin türü ve bitkinin gelişim evresi. Oluşturulacak kablosuz ağ topolojisi ile tüm birimleri birbirine bağlama, buna bağlı olarak kablolu seviyesini azami düzeye indirilecektir. Ayrıca birçok merkezi birim oluşturulması ve bu birimleri hem sensörler hem de kendi aralarında haberleşmesi, sensörlerde gelen bilgi, mevcut hava durumu, sulanacak olan bitkiye özel sulama rejiminin oluşturulması ve tüm bu unsurları uzaktan takip edilmesi planlanmaktadır. Oluşturulacak olan tüm sistem makine öğrenmesi üzerine inşa edilecektir. Ortamdan elde edilen tüm veriler ve kullanıcılar aracılığı ile girilecek olan verilerden bir veri seti oluşturulacaktır. Veri seti, makine öğrenmesi ve kullanılacak algoritmalar ile bitkiye özgü seçici sulama rejiminin oluşturulması sağlanacaktır.

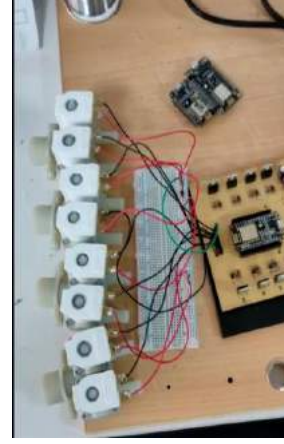
2. Materyal ve Metot

2.1. Metot

Çalışmada en önemli kısımlarında biri olan verilerin toplanması ve bitkiye özgü veri setlerinin oluşturulmasıdır. Verilerin toplanması kablosuz sensörler aracılığı ile gerçekleştirilecektir. Kablosuz sensör topolojisi, birbirinden farklı sensörler aracılığıyla çevreleri ile etkileşime girebilme, bilgi işleyebilme ve elde edilen verileri kablosuz olarak çevresindeki bağlantı (düğüm) veya internet ortamlarına aktarabilme özelliklerine sahiptir. Bu çalışmada tasarlanan yapı birçok sensörü içinde barındırmaktadır. Sensörler buldukları ortamlardaki bilgiyi işleyebilen ve topladığı verileri kablosuz olarak sensör düğümüne ve sensör düğümünden gelen verileri bilgisayar ortamında saklayabilen bir sistem üzerine inşa edilecektir. Çalışma da yer alan ve veri toplamak için kullanılacak çeşitli sensörler vardır. Sistemde bir bahçe / tarla üzerinden 8 farklı bitkinin, sensörlerden gelen bilgiye ve bitkinin cinsi ve büyüme (tohum, fide, çiçeklenme vb.) durum verilerini elde edilmesi ve bu verilere dayanarak makine öğrenmesi yoluyla her bir bitkinin kendine has bir şekilde sulanması sağlanmaktadır. Sistemde enerji kaynağı yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır. (Şekil-1). Sistemin ana kontrol merkezi Wi-Fi özelliğine sahip ve kablosuz iletişim kurabilmektedir. (Şekil-2 ve Şekil-3). Sistem tasarımının yapay zekâ / makine öğrenmesi deneyleri laboratuvar ortamında test edilmektedir. Sistemde su miktarları selenoid valfler aracılığı ile kontrol edilmektedir. Sisteme elde edilene veriler neticesinde bir veri oluşturulup makine öğrenmesi için temel oluşturulmaktadır. (Şekil-4). Bu sayede bitkiye özgü olarak sulama miktarları belirlenmektedir. Aşağıda tasarımda kullanılan belli başlı önemli devre elemanları, sensörler, elektronik sistemler ve yapay zekânın temeli hakkında bilgilere de yer verilmiştir. Sistem ve makine üzerine çalışmaların devam ediyor olması sebebiyle kesinleşen veriler bu makalede paylaşılmamıştır.



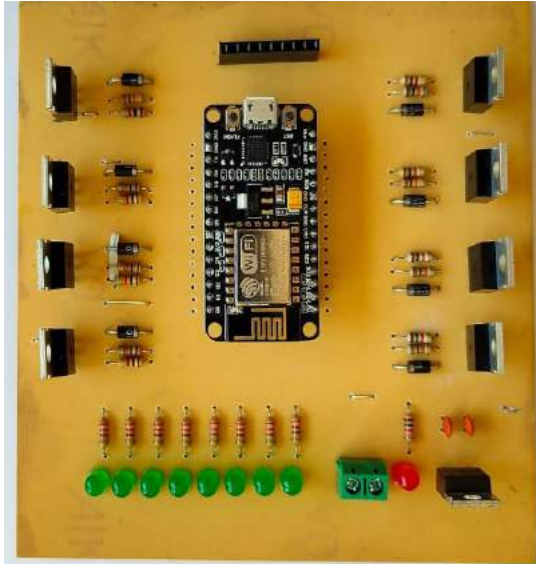
Şekil 1. Sistemin Genel Şeması



Şekil 4. Gömülü Sistem ve Selenoid Valflerin Test Edilmesi



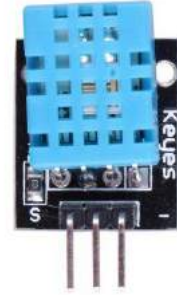
Şekil 2. Yapay Zekâ Destekli Gömülü Sisteme Devre Tasarımı (Üst Görünüm) – Wi-Fi



Şekil 3. Yapay Zekâ Destekli Gömülü Sisteme Devre Uygulaması (Üst Görünüm) – Wi-Fi

2.1.1 Sıcaklık ve Nem Sensörü

Hava sıcaklığı ve neminin ölçmek için kullanılan 0.1 hassaiyet ölçülerine sahip sensördür. Uzun süreli çalışma yüksek kararlık özelliklerine sahiptir. 8 bitlik mikroişlemci mimarisine sahiptir. Sıcaklık ölçüm aralığı 0°C- 50°C aralığında 2°C hata payına sahiptir. Nem ölçümü aralığı %20-%90 RH arasında ve %5'lik RH hata payına sahiptir. (DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü, 2021)



Şekil 5. Sıcaklık Ve Nem Sensörü

2.1.2 Kapasitif Toprak Nem Sensörü

Kapasitif toprak nem sensörü, diğer nem sensörlerinden farklı olarak direnç değeri algılamak yerine Kapasitif algılama ile topraktaki nem miktarını ölçebilmektedir.

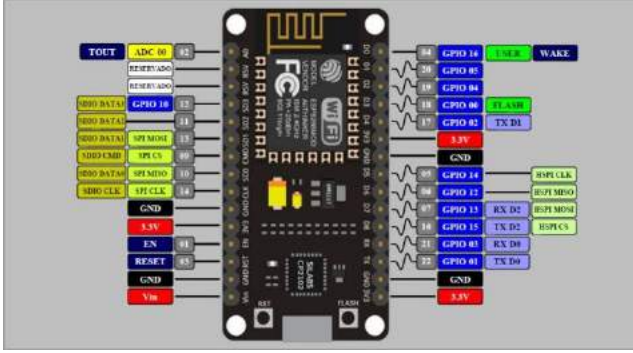
Çalışma gerilimi: DC 3.3-5.5V Çıkış voltajı: DC 0-3.0V Arayüz: PH2.0-3P (Kapasitif Toprak Nem Sensörü - Higrometre,2021)



Şekil 6. Kapasitif Toprak Nem Sensörü

2.1.3 Mikro Kontrol Ünitesi

NodeMCU; Wi-Fi özelliğiyle kolay iletişim özelliğine sahiptir. Programlanabilir ve ucuz maliyeti ile özellikle IoT projelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Dijital I/O, Analog I/O, PWM çıkışları ve Wi-Fi ile kablosuz haberleşmeye imkan tanımaktadır. NodeMCU Wi-Fi kontrol ünitesine ait pin yapısı Şekil 7'de görülmektedir. (Taştan, 2019)



Şekil 7. NodemCU V3

NodeMCU gömülü Wi-Fi modüle sahip özel bir IoT denetleyicisidir. 32 bitlik 160 MHz' de çalışan LX106 mikro denetleyicisi içerir. NodeMCU' yu programlayabilmek için C ve C++ temelli yazılım dilleri kullanılacaktır. Tablo 1'de ise NodeMCU kontrol modülüne ait teknik veriler görülmektedir. (Taştan, 2019)

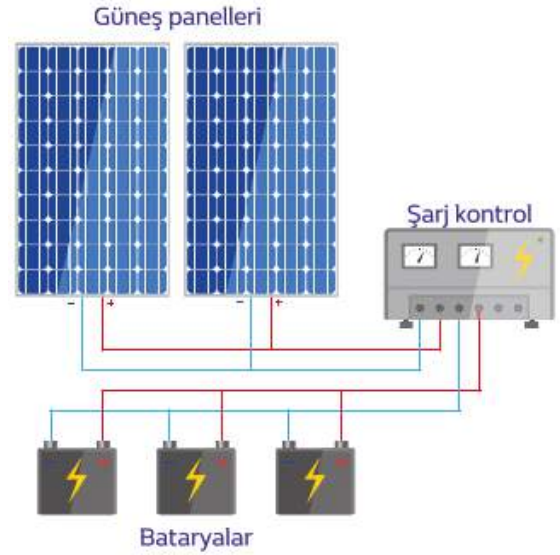
Tablo 1. NodeMCU' nun teknik verileri (NodeMcu -- An Open-Source Firmware Based on ESP8266 Wifi-Soc.,2021)

Özellikler	Değer
MCU	32 bit Tensilica L106 İşlemci Frekansı 80/160 MHz
Input/Output	13xDIO
ADC Pin	1x10 bit (1V)
Çalışma Gerilimi	3.0/3.6V
Çalışma Akımı	12-200 mA
Program Hafızası	4MB
WiFi	IEEE 802.11 b/g/n
Sleep Mode Akım	<10uA
Standby Mode Akım	<10mA

2.1.4 Fotovoltaik Sistem

Üzerine gelen güneş ışınlarını düşük seviyede elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlara güneş pili denir. Daha yüksek gerilim ve akım elde etmek için çok sayıda güneş pilleri seri ve paralel bağlanarak elde edilen aygıt güneş paneli denir. (Topuz et al., 2017) (Şekil-8)

Çalışmamızda yapılan hesaplamalar doğrultusunda 40W güce sahip Fotovoltaik panel(ler) ve 2x 12V 7A'lik doğru akım aküleri ile sistemin enerji ihtiyacı karşılanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 8. Güneş Enerji Sistemi (Fotovoltaik)

2.1.5 Selenoid Valf

Selenoid Valf; su, hava, yağ vb. gaz ve sıvıları kontrol etmek için kullanılan elektromanyetik vanalardır. Selenoid valfin içerisinde bir bobin sargısı mevcuttur. Bu sargıya elektrik akımı uygulandığında bobin elektromıknatis özelliği gösterir. Valfin içerisinde bulunan metal piston elektromıknatisin etkisi ile konum değiştirir. Bu tarz valfler iki konumludur. Normalde Açık Kontaklı Valfler; normalde sıvı akışına müsaade etmez ancak bobine elektrik akımı uygulandığında valf konum değiştirir ve sıvının geçişine izin verir. Normalde Kapalı Kontak Valfler; normalde sıvının akışına izin veriler ancak bobine elektriksel güç uygulandığında valf konum değiştirir ve sıvı akışını durdurur. Sistemde 12V DC gerilimde çalışan selenoid valfler kullanılmıştır. (Genel Kullanım Selenoid Valf,2021)



Şekil 9. Selenoid Valf

2.1.6 Makine Öğrenmesi

Verilerin elde edilmesi ve veri setlerine dönüştürülmesinin temel amacı makine öğrenmesi için zemin hazırlanması sağlamaktır. Çünkü makine öğrenmesinde en önemli unsur veridir. Çalışmamızda sensörler ile elde edilen veriler, veri setlerine dönüştürülecek makinenin karar vermesi için birer veri tabanı görevi göreceklerdir. (Jha et al., 2019)

Makine öğrenmesi, belirlenen problemi, probleme özgü elde edilen verilere göre yorumlayan ve karar veren algoritma yöntemlerinin genel adıdır. Probleme ait verileri göre oluşturulan algoritmalar, en yüksek performansı vermek üzere

kurgulanmaktadır. Bu nedenle makine öğrenmesi için birçok algoritma yöntemi geliştirilmiş olup bunlardan bazıları;

- K-en yakın komşu algoritması,
- Basit (naive) Bayes sınıflandırıcı,
- Karar ağaçları,
- Lojistik regresyon analizi,
- K-ortalamlar algoritması,
- Destek vektör makinaları
- Yapay sinir ağları,
- Bu yöntemlerde öğrenme stratejileri;
- Denetimli öğrenme,
- Denetimsiz öğrenme
- Pekiştirmeli (takviyeli) öğrenmedir.

Genel olarak makine öğrenmesi 3 temel yapı üzerinde incelenmektedir.

Bunlar;

- Denetimli öğrenme,
- Denetimsiz öğrenme
- Pekiştirmeli (takviyeli) öğrenme

Denetimli öğrenme makine öğrenme modeli, hedef değerler ile sisteme giren veriler arasındaki ilişkiyi baz alan ve hedef değerlere benzer verilerin üretilmesini amaçlamaktadır. Bu sayede elde edilen model ile sisteme giren yeni veriler için en iyi sonucu verecektir. (Özkaya & Seyfi, 2021)

Denetimsiz öğrenmede, hedef değer olmadan yalnızca giriş değerleri arasındaki ilişki belirlemeye çalışılır. Bu ilişki/ilişkiler yardımı ile birbirine benzer değerleri gruplandırılır yani küme haline getirir. Yeni gelen yeni girdi bilgisi önceden belirlenen kümelere hangisi ile ilişkili ise o kümeyle ait olacaktır. (Özkaya & Seyfi, 2021)

Pekiştirmeli öğrenme, amaçlanan çıktı verisine ulaşabilmek için hedef veriler yerine, son olarak elde edilen çıkış verisinin, önceden verilen girişe göre olumlu veya olumsuz olarak değerlendiren bir ölçüt kullanılmaktadır. (Atalay & Çelik, 2017)

Makine öğrenmesi ile ilgili birçok metot söz konusu. Çalışmamızda bu metotlar test edilecek ve en uygun algoritma seçimi yapılması hedeflenmektedir.

2.1.7 Sistemin Genel Mantığı

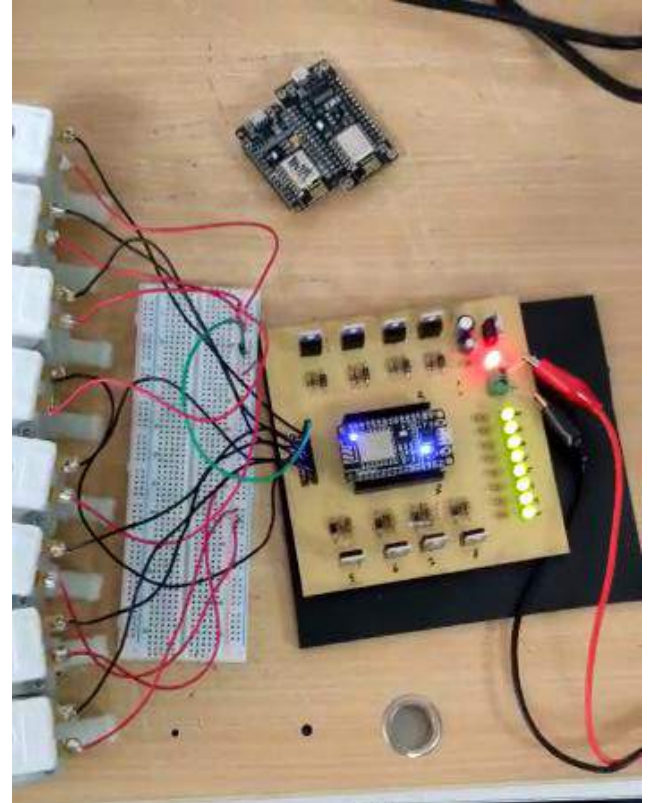
Tüm verilerin elde edilmesi, veri setleri haline dönüştürülmesi ve makine öğrenmesi metodu ile sulama sürelerine karar verme mekanizmasının merkezinde karar verici eleman olarak NodeMCU Wi-Fi özellikli gömülü sistem kullanılacaktır. Veriler elde edilmesi ve makine öğrenmesini karar merkezi olan NodeMCU, giriş verilerinde elde ettiği sonuca göre çıkışında bağlı bulunan ve MOSFET'lerden oluşacak olan sürücü devresi sayesinde selenoid valflerin kontörünü gerçekleştirecektir. Selenoid valfler elektriksel sinyallerle kontrol edilebilen valflerdir. Bu sayede merkezi işlemi biri tarafında belirlenen ve bitkiye özgü seçici sulama işlemi gerçekleştirilecektir.

Tüm bu sistemin elektrik enerjisi ile Fotovoltaik (güneş enerjisi) sistemi ile sağlanması planlanmaktadır. Hesaplanan enerji ihtiyacına göre 40W'lık bir Fotovoltaik panel ve 2x 12V 7A'lık doğru akım aküleri ile sistemin enerji ihtiyacı karşılanabilecektir. Bu sayede sistemin çalışması için kurulu bir elektrik şebekesine ihtiyaç duyulmayacaktır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bulgular

Yapılan çalışmada, sulama amacıyla kullanılacak olan suyun, bitkinin özellikleri ve çevresel sensör ağıdan elde edilen bilgilerin makine öğrenmesi yoluyla yorumlanarak ideal ölçüde kullanılması hedeflenmektedir. Ana amaç daha bitkiye özgü seçici sulama ile azami ölçüde verim elde etmektir. Bu doğrultuda çalışmanın ilk çıktısı olarak akıllı sulama sisteminin kontrol merkezi olan yapay zekâ destekli gömülü sistemin tasarımı gerçekleştirilmiştir. (Şekil 2 ve Şekil 3). Çalışmanın bu aşamasında laboratuvar ortamında gömülü sistemin çalışması test edilmiştir. Bu çalışmada ki bulgular; hali hazırda yapay zekâ desteği sisteme yüklenmemiştir. Sadece devrenin ve valflerin çalışma voltaj ve akımları test edilmiştir. (Şekil 10) Ayrıca her bir valfin ayrı ayrı kontrol edilebilirliği test edilmiştir. Devre elemanlarında özellikle sürücü MOSFET entegrelerinde ısınma tespit edilmemiştir.



Şekil 10. Devre Testleri

Devrenin çalışma voltajı 12V DC gerilim olarak belirlenmiştir. Bu voltaj değerinde selenoid valfin çalışması ile ortaya çıkan Akım 0.97 A (970mA) olarak ölçülmüştür (Şekil-11). Ancak yapılan testlerde 9V DC gerilime kadar selenoid valflerin çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu sayede valflerin çektiği

akım 0.56A(560mA) kadar düşmüştür. Her iki durumda da sistemin için düşünülen 40W'lık Fotovoltaik güneş pilleri ve 2 x 12V 7A' lik bataryaların yeterli olacağı düşünülmektedir.

Selenoid Valflerin içinde bulunan vanaların açılabilmesi ve sıvı akışına müsaade etmesi için minimum 0.02 Mpa (3 psi) bir akış debisine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan testlerde selenoid valflerin açılma süresi: ≤ 0.15 sn kapanma süresi: ≤ 0.3 sn olarak gözlemlenmiştir.

Bu aşamadan sonra sistemin makine öğrenmesi çalışmalarına geçilmiş ve halen makine öğrenmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 11. Test Ölçümleri

3.2. Tartışma

Daha önce benzer alanda yapılan çalışmalarda küçük ölçekte zaten test edilmiş olan önerimiz, yalnızca gerektiğinde sulama yapmak yerine çevresel veriler analiz edebilen ve tarla/bahçe içinde yetiştirilmesi hedeflenen 8 farklı ürün için gereken doğru su miktarını anlayabilen algoritmaların kullanılması ve makine öğrenmesine dayalı bir sistem olmasıyla diğerler çalışmalardan ayrılmaktadır.

Daha önceki çalışmalar da sensörler ve kısıtlı algoritmalar ile oluşturulan sulama rejimlerinde %25 ve üstünde su tasarrufu sağladıkları tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda tarla/bahçe sulama genel anlamda su tasarrufu üzerine gidilmiş, bitkilere özel bir sulama sürelerinin belirlenmesi için makine öğrenmesi ve yapay zekâ algoritmaları oluşturulmamıştır.

Çalışmamız her bir ürün için oluşturulacak sulama algoritması ile ürünün çeşidi ve topraktaki nem miktarına bağlı kalınarak bitkiye özgü sulama programı oluşturulacaktır. Bu sayede daha önceki çalışmalarda elde edilen su tasarrufunun üzerinde bir sonuç elde etmeyi hedeflemekteyiz.

Sonuçları iyileştirmek ve çözümün birden fazla ortamda çalışmasını garanti etmek için, daha güvenli bir sistem, makine izlemesi, uzaktan izleme ve yenilenebilir enerji yönetimi geliştirmeyi düşünmekteyiz.

4. Sonuç

Çalışmamız hali hazırda devam etmektedir. Bu nedenle sonuçları yerine çalışmamızın nihai hedeflerinden bahsetmek istiyorum.

Çalışmamızda yer alan proje tasarımı küçük ölçekli bahçe sulamaları için tasarlanmıştır. Kısa vade de bu alanda ihtiyaç duyulan seçici akıllı sulama sistemlerine cevap verebilecektir. Uzun vade de ise projemizin geliştirilerek daha büyük ölçekli tarım alanları ve meyve bahçelerinde kullanılması söz konusu olabilecektir.

Önerilen çalışmanın 4 temel amacı vardır ve bu amaçların her biri çalışmanın sonucu olarak yorumlanabilir. Bunlar;

- 1- Kurak veya yarı kurak bölgeler de verimli tarımın yapılabilmesi için bitkinin ihtiyaçlarına ve toprak nem özelliklerine uygun sulamanın yapılması,
- 2- Tarımda arazilerinde su israfının önüne geçilmesi,
- 3- Çalışmada planlanan 8 farklı bitki için (bu sayı verilerin toplanması için sınırlı tutulmuştur) sulama algoritması oluşturulması hedeflenmektedir. Her bir bitkinin su ihtiyacı birbirinden farklıdır ve bitkilerin sulama algoritmaları oluşturulması ve makine öğrenmesi ile bitkilerden elde edilecek verimin, asgari su düzeyi ile azami seviyeye çıkarılması hedeflenmektedir.
- 4- Sistemin için gerekli olan tüm enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarında sağlanması ve karbon salınımı en aza indirmek ve çevre dostu bir sistem oluşturmaktır. Ayrıca yerleşim yerinde uzakta olan tarla/bahçeler içinde kesintisiz bir enerji kaynağı sağlanmış olacaktır.

5. Teşekkür

Çalışmanın hazırlanmasında sabırla büyük çaba sarf eden değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURGUN'a, konu ile ilgili tecrübe ve bilgisini bizimle paylaşan değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Levent GÖKREM'e, çalışmalarımın oluşturulması ve testlerinin gerçekleştirilmesi için ARGE Laboratuvarını kullanmam için izin veren Tokat Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi İdaresi ve çalışma arkadaşlarıma, çalışmalarım esnasında gösterdiği sabır ilgi ve alaka sebebiyle aileme şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Kaynakça

- Atalay, M., & Çelik, E. (2017). BüyükVeriAnalizinde Yapay Zekâ VeMakineÖğrenmesi Uygulamaları - Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Big Data Analysis. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 155–172. <https://doi.org/10.20875/makusobed.309727>
- Baştuğ, R. (2014). Sebze üretiminde damla sulama yönetiminin temel ilkeleri. *Derim*, 31(1), 61. <https://doi.org/10.16882/derim.2014.79864>
- Chang, Y.-C., Huang, T.-W., & Huang, N.-F. (2019). *A Machine Learning Based Smart Irrigation System with LoRa P2P Networks; A Machine Learning Based Smart Irrigation*

System with LoRa P2P Networks.

- DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü. (n.d.). Retrieved September 18, 2021, from <http://arduinoturkiye.com/dht11-sicaklik-ve-nem-sensorunun-arduino-ile-kullanimi/,2021>
- Dorak, S., Aşık, B. B., & Özsoy, G. (2019). Tarımda Su Kalitesi ve Su Kirliliğinin Önemi : Bursa Nilüfer Çayı Örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 155–166.
- Genel Kullanım Selenoid Valf. (n.d.). Retrieved September 18, 2021, from <https://www.ayvaz.com/urunler/296-Genel-Kullanim-Selenoid-Valf.html>
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. In *Artificial Intelligence in Agriculture* (Vol. 2, pp. 1–12). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
- Kalkınma bakanlığı. (2018). Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Tarımda Toprak ve Suyun Sürdürülebilir Kullanımı. *ÖzeİhtisasKomisyonu Raporu*, 71–91.
- Kapasitif Toprak Nem Sensörü - Higrometre. (n.d.). Retrieved September 18, 2021, from <https://www.direnc.net/kapasitif-toprak-nem-sensoru,2021>
- Kılavuz, E., & Erdem, İ. (2019). Agriculture 4.0 Applications in the World and Transformation of Turkish Agriculture. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 14(4), 133–157. <https://doi.org/10.12739/nwsa.2019.14.4.3c0189>
- NodeMcu -- An open-source firmware based on ESP8266 wifi-soc. (n.d.). Retrieved September 18, 2021, from https://www.nodemcu.com/index_en.html#fr_54745c8bd775ef4b99000011,2021
- Özel İhtisas Komisyonu Raporu. (2018). *Su KaynaklarYönetimi VGüvenliği*. 110.
- Taştan, M. (2019). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi. *European Journal of Science and Technology*, 15, 229–236. <https://doi.org/10.31590/ejosat.525149>
- Tatl, D., & Amerika, K. (2000). *Kentsel VeBireysel Su Tasarrufu*.
- Topuz, A., Tarihi, G., Erdoğan, B., Taşkaya Bülent, G., Üniversitesi, E., & Bölümü, M. M. (2017). Araştırma Makalesi Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi Modeling of the Solar Irrigation System Using Photovoltaic Effect. In *Karaelmas Fen ve Müh. Derg* (Vol. 7, Issue 2). <http://fbd.beun.edu.tr>



Inter-laboratory Comparisons and Their Roles in Accreditation

Yasin Durgut^{1*}

^{1*} TUBITAK National Metrology Institute (TUBITAK UME), Turkey, Kocaeli, Turkey, (ORCID ID 0000-0001-8901-4166), yasin.durgut@tubitak.gov.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1001957)

ATIF/REFERENCE: Durgut, Y. (2021). Inter-laboratory Comparisons and Their Roles in Accreditation. *European Journal of Science and Technology*, (28), 402-406.

Abstract

Results of interlaboratory comparisons and proficiency tests are a significant parameter for the calibration and testing laboratories for assuring the quality of test and calibration results performed by those laboratories. If test and calibration laboratories want to demonstrate that they operate according to a management system, that they are technically competent and that they can produce technically valid results in the tests and calibrations they perform for their customers, the general requirements they must meet are defined in ISO/IEC 17025:2017. This international standard forms the basis of international laboratory accreditation. Clause 7.7 Ensuring the validity of results in this standard requires laboratories to establish the procedures and instructions and other technical documentation needed to ensure the results of the tests and calibrations they perform. Participation in inter-laboratory comparison or proficiency testing programs is one of the most important of these activities. Participation in inter-laboratory comparisons provides an opportunity for laboratories to independently evaluate their analytical performance, both in absolute terms and in comparison, to other techniques.

In this study, information about calibration laboratories and accreditation activities is given and the importance of inter-laboratory comparison studies is explained to ensure the results of the measurements made by calibration laboratories.

Keywords: Accreditation, comparison, calibration, ISO17025, degree of equivalence, inter-laboratory comparison.

Laboratuvarlararası Karşılaştırmalar ve Akreditasyondaki Rollerini

Öz

Laboratuvarlar arası karşılaştırmaların ve yeterlilik testlerinin sonuçları, test ve kalibrasyon laboratuvarları tarafından gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının kalitesinin güvencesi açısından önemli bir parametredir. Laboratuvarlar, bir yönetim sistemine göre çalıştıklarını, teknik olarak yetkin olduklarını ve müşterileri için gerçekleştirdikleri test ve kalibrasyonlarda teknik olarak geçerli sonuçlar üretebileceklerini göstermek istiyorlarsa, yerine getirmeleri gereken genel gereksinimler ISO/IEC 17025:2017'de tanımlanmıştır. Bu uluslararası standart, laboratuvar akreditasyonunun temelini oluşturur. Bu standart içindeki madde 7.7, laboratuvarların gerçekleştirdikleri test ve kalibrasyonların sonuçlarının kalitesinin güvence altına alınmasını sağlamak için gerekli prosedürleri ve diğer teknik belgeleri oluşturmasını gerektirir. Laboratuvarlar arası karşılaştırma veya yeterlilik testi programlarına katılım bu faaliyetlerin en önemlilerinden biri olup bu sayede laboratuvarların performanslarını bağımsız olarak değerlendirmelerini sağlar.

Bu çalışmada kalibrasyon laboratuvarları ve akreditasyon faaliyetleri hakkında bilgi verilmekte ve kalibrasyon laboratuvarları tarafından yapılan ölçümlerin sonuçlarının sağlanması için laboratuvarlar arası karşılaştırma çalışmalarının önemi anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akreditasyon, Karşılaştırma, Kalibrasyon, ISO 17025, Denklik derecesi, laboratuvarlararası karşılaştırma.

1. Introduction

Accreditation is the independent, third-party evaluation of a conformity assessment body (such as certification body, inspection body or laboratory) against recognised standards, conveying formal demonstration of its impartiality and competence to carry out specific conformity assessment tasks (such as certification, inspection and testing) (ISO/IEC 17020:2012, 2012).

The general requirements that testing and calibration laboratories must meet if they wish to demonstrate that they operate to a management system, are technically competent and can generate technically valid results are contained within ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (BS EN ISO/IEC 17025:2017, 2018) standard. This international standard forms the basis for international laboratory accreditation. Section 7.7 of ISO/IEC 17025:2017 requires that laboratories shall plan and undertake quality assurance procedures for monitoring the validity of tests and calibrations undertaken. This shall include participation in inter-laboratory comparison or proficiency testing schemes where available and appropriate (UKAS Policy, 2019).

The laboratories who want to be accredited by accreditation bodies and want to continue the accreditation status that has been granted, such laboratories should carry out the necessary studies to demonstrate their technical competence and monitor this competence he is responsible for doing it. One way to demonstrate technical competence is the participation of laboratories in the appropriate PT and ILC organizations and achieve successful results. (TURKAK procure, 2020).

PTs are widely used for some purposes and their use is increasing internationally. BS EN ISO/IEC 17043:2010 "Conformity assessment - General requirements for proficiency testing" (BS EN ISO/IEC 17043:2010, 2010) international standard specifies general requirements for the competence of providers of proficiency testing schemes and the development and operation of proficiency testing schemes.

Inter-laboratory comparison (ILC) organization, performance and evaluation of measurements or tests on the same or similar items by two or more laboratories under predetermined conditions. Proficiency testing (PT) evaluation of participant performance against pre-established criteria through inter-laboratory (ILC) comparisons. Participant laboratory, organization or individual that receives proficiency test items and submits results for review by the proficiency provider (BS EN ISO/IEC 17043:2010, 2010).

Typical purposes for ILC include the following items

- a) evaluation of the performance of laboratories for specific tests or measurements and monitoring laboratories' continuing performance;
- b) identification of problems in laboratories and initiation of actions for improvement which, for example, may be related to inadequate test or measurement procedures, the effectiveness of staff training and supervision, or calibration of equipment;
- c) establishment of the effectiveness and comparability of test or measurement methods;
- d) provision of additional confidence to laboratory customers;

- e) identification of interlaboratory differences;
- f) education of participating laboratories based on the outcomes of such comparisons;
- g) validation of uncertainty claims;
- h) evaluation of the performance characteristics of a method – often described as collaborative trials;
- i) assignment of values to reference materials and assessment of their suitability for use in specific test or measurement procedures
- j) support for statements of the equivalence of measurements of National Metrology Institutes through "key comparisons" and supplementary comparisons conducted on behalf of the International Bureau of Weights and Measurement (BIPM) and associated regional metrology organizations.

Proficiency testing involves the use of ILC comparisons for the determination of laboratory performance, as listed in a) to g) above. PT does not usually address h), i) and j) because laboratory competence is assumed in these applications, but these applications can be used to provide independent demonstrations of laboratory competence.

2. Material and Method

2.1. Technical Requirements for PT Providers

In general, the development and operation of proficiency testing schemes shall be undertaken by proficiency testing providers having the competence to conduct inter-laboratory comparisons and access to expertise with the particular type of proficiency test items.

On the personnel side, the proficiency testing provider shall have managerial and technical personnel with the necessary authority, resources and technical competence required to perform their duties. The proficiency testing provider's management shall define the minimum levels of qualification and experience necessary for the key positions within its organization and ensure those qualifications are met.

The proficiency testing provider shall ensure that there is an appropriate accommodation for the operation of the proficiency testing scheme. This includes facilities and equipment for proficiency test item manufacturing, handling, calibration, testing, storage and despatch, data processing, communications, and retrieval of materials and records.

2.2. Design of PT Schemes Planning

The proficiency testing provider shall identify and plan those processes which directly affect the quality of the proficiency testing scheme and shall ensure that they are carried out under prescribed procedures. The proficiency testing provider shall document a plan before commencement of the proficiency testing scheme that addresses the objectives, purpose and basic design of the proficiency testing scheme. The name and address of the proficiency testing provider, criteria to be met for participation, the number and type of expected participants in the proficiency testing scheme, selection of the measurand(s) or characteristic(s) of interest, including information on what the participants are to identify, measure, or test for in the specific proficiency testing round, a description of the range of values or characteristics, or both, to be expected for the proficiency test items, storage and

distribution of proficiency test items, a description of the information which is to be supplied to participants and the time schedule for the various phases of the proficiency testing scheme any information on methods or procedures which participants need to use to prepare the test material and perform the tests or measurements, preparation of any standardized reporting formats to be used by participants, a detailed description of the statistical analysis to be used, the origin, metrological traceability and measurement uncertainty of any assigned values, criteria for the evaluation of performance of participants, a description of the data, interim reports or information to be returned to participants, a description of the extent to which participant results, and the conclusions that will be based on the outcome of the proficiency testing scheme, are to be made public and actions to be taken in the case of lost or damaged proficiency test items (BS EN ISO/IEC 17043:2010 , 2010).

2.3. Operation of PT Schemes and Instructions for Participants

The proficiency testing provider shall give participants sufficient prior notice before sending proficiency test items, providing the date on which the proficiency test items are likely to arrive or to be despatched unless the design of the proficiency testing scheme makes it inappropriate to do so. The proficiency testing provider shall give detailed documented instructions to all participants about the plan and the progress of the proficiency testing.

2.4. Data Analysis and Evaluation of PT Results

All data processing equipment and software shall be validated under procedures before being brought into use. Computer system maintenance shall include a backup process and system recovery plan. The results of such maintenance and operational checks shall be recorded. Results received from participants shall be recorded and analysed by appropriate methods. Procedures shall be established and implemented to check the validity of data entry, data transfer, statistical analysis, and reporting. The proficiency testing provider shall use valid methods of evaluation that meet the purpose of the proficiency testing scheme. The methods shall be documented and include a description of the basis for the evaluation. The evaluation of performance shall not be subcontracted.

2.5. Reports

Proficiency test reports shall be clear and comprehensive and include data covering the results of all participants, together with an indication of the performance of individual participants. The authorization of the final report shall not be subcontracted. Where all original data cannot be reported to participants, a summary of the results, e.g. in tabulated or graphical form, can be supplied. Reports shall include the name and contact details for the proficiency testing provider the name and contact details for the coordinator, the name(s), function(s), and signature(s) or equivalent identification of person(s) authorizing the report, the date of issue and status (e.g. preliminary, interim, or final) of the report, page numbers and a clear indication of the end of the report, a statement of the extent to which results are confidential, a clear description of the proficiency test items used, including necessary details of the proficiency test item's preparation and homogeneity and stability assessment, the participants' results, statistical data and summaries, including assigned values and range of acceptable results and graphical displays, details of the

metrological traceability and measurement uncertainty of any assigned value, procedures used to establish the standard deviation for proficiency assessment, or other criteria for evaluation, assigned values and summary statistics for test methods/procedures used by each group of participants, procedures used to statistically analyse the data. All information supplied by a participant to the proficiency testing provider shall be treated as confidential.

2.6. Policies on participation in PT schemes

If relevant, interested parties should document their policies for participation in PT schemes. The frequency of participation, the criteria used by an interested party to judge satisfactory or unsatisfactory performance, whether participants may be required to participate in follow-up PT schemes if performance is judged to be unsatisfactory, how the results of PT will be used in the evaluation of performance and the subsequent decision should be defined by participants.

All methods and matrices within the scope of accreditation should be determined by the laboratories, and sub-areas should be determined and participation in comparison measurements in different parameters should be ensured in the sub-areas by participant laboratories. For such purpose, the "EA-4/18: Guidance on the Level and Frequency of Proficiency Testing Participation" document can be referred to (EA-4/18 standard, 2010).

3. Results and Discussion

Technical competence can also be demonstrated by participating in interlaboratory comparison programs that are not organized as proficiency tests and achieving successful results. Proficiency tests and inter-laboratory comparison programs are important tools for accreditation bodies to see the proficiency of the laboratory that wants to be accredited and to evaluate the quality of its activities. Laboratories applying for accreditation are required to carry out activities according to the following criteria regarding proficiency tests or interlaboratory comparisons.

In the accreditation decision process, the proficiency tests of the laboratories and the inter-laboratory comparison participation plans, their participation, and the results they obtained are examined and evaluated. If there are unsuccessful results of the laboratory, the corrective actions taken by the laboratory are examined and evaluated. Options such as applying different surveillance intervals can be implemented if the laboratory consistently achieves successful results.

The results from proficiency testing schemes are useful for both participants and accreditation bodies. There are, however, limitations on the use of such results to determine competence. Successful performance in a specific proficiency testing scheme may represent evidence of competence for that exercise, but may not reflect ongoing competence. Similarly, unsuccessful performance in a specific proficiency testing scheme may reflect a random departure from a participant's normal state of competence. It is for these reasons that proficiency testing should not be the only tool used by accreditation bodies in their accreditation processes. For participants reporting unsatisfactory results, the accreditation bodies should have policies to ensure that the participants investigate and comment on their performance within an agreed time-frame, and take appropriate corrective action, (where necessary) ensure that the participants undertake any subsequent proficiency testing to confirm that any

corrective actions taken by them are effective, and (where necessary) ensure that on-site evaluation of the participants is carried out by appropriate technical assessors to confirm that corrective actions are effective.

One of the commonly employed analyse methods in PT measurement is determining the degree of equivalence by calculating normalise error (En) values for each participant laboratory for each calibration point. In the analysing of the degree of equivalence, participants' results are compared to "reference values" that are obtained from the National Metrology Institutes or other credible sources. The comparison takes into account the difference between laboratories' results and the reference values, as well as the uncertainties associated with both. The normalised error ratio (En ratio) analysis is calculated based on equation (1).

$$E_n = \frac{|L_V - R_V|}{\sqrt{U_{L_V}^2 + U_{R_V}^2}} \quad (1) \text{ (BS EN ISO/IEC 17043:2010, 2010)}$$

where,

LV is the value reported by the laboratory, with expanded uncertainty ULV.

RV is the reference value, with expanded uncertainty URV.

The E_n the ratio should usually be within the range ± 1 . If the analysis reveals that it lies outside this range, results are labelled as unsuccessful. So, it is expected to investigate the results and require that any necessary corrective and preventive actions are undertaken. The assessment team will assess the activities of the laboratory in resolving any issues.

Participant values vs reference value (weighted mean) taken from the international PT organization report were given in Figure 1.

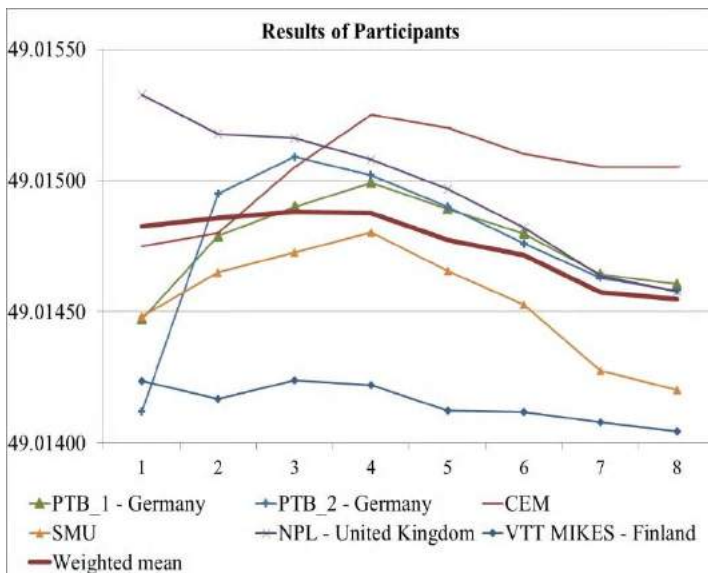


Figure 1. Participant values vs reference value (weighted mean) of PT (Altintas, 2020)

Using the results of participants and reference value and assigned uncertainties available in EURAMET.M.P-K1.c (Altintas, 2020) report, En values can be calculated based on the equation (1). En values of participants were given in Figure 2.

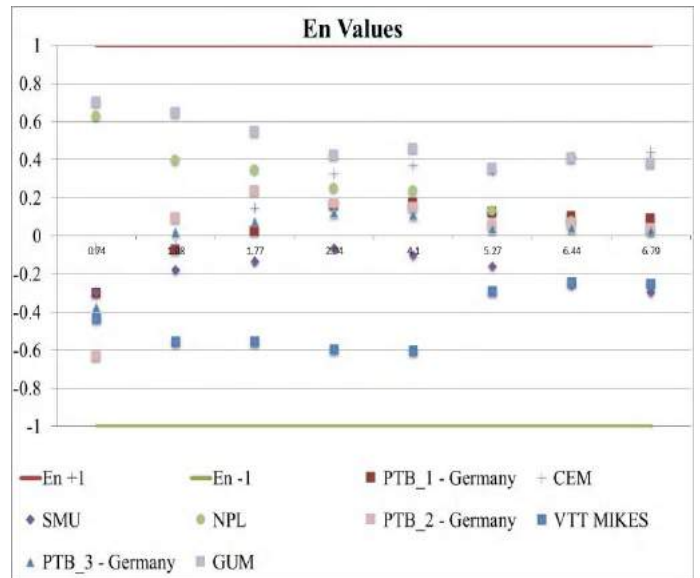


Figure 2. En values of participants (Altintas, 2020)

Based on the En criteria it can be concluded that all participant laboratories show the degree of equivalence to the assigned reference value

4. Conclusions and Recommendations

Participants may need to demonstrate their competence to other interested parties, such as customers or in a subcontracting mandate. Proficiency testing results, as well as other quality control activities, can be used to demonstrate competence, although this should not be the only activity. Proficiency testing data used to validate claims of competence are normally used by organizations in conjunction with other evidence, such as accreditation. It is the responsibility of the participants to ensure that they have provided all the appropriate information to interested parties wishing to evaluate the participants as to their competence. The results from proficiency testing schemes are useful for regulatory bodies that need to evaluate the performance of participants covered by regulations. It is the most important parameter that is asked by the accreditation bodies at the accreditation application and by the assessors during the assessment visit. Successful PT results are necessary for terms of ensuring the quality of produced results by laboratories according to clause 7.7 in the ISO/IEC 17025:2017. The TS EN ISO/IEC 17043 standard determines the general conditions regarding the competence of its providers, the organization of PT measurement, and the execution of this organization (Alper, 2013). It has been observed that the comparison measurements carried out by the providers by adhering to the TS EN ISO / IEC 17025 standard until today is more effectively carried out and concluded when compared with the comparison measurements organized according to the TS EN ISO / IEC 17043 standard. In our country, there is no provider accredited under 17043 yet. As of September 2021, the number of accredited calibration laboratories in our country is 147, the number of test laboratories is 938 (Akredite kuruluş Arama, 2021] and the numbers are increasing rapidly. In this study, the role of PT tests in assuring the quality of measurements made in laboratories, the organization of PT tests, the analysis and reporting of their results, and the role of these PT tests during accreditation and accreditation inspections are mentioned

References

- ISO/IEC 17020:2012 Conformity assessment-requirements for operation of various types of bodies performing inspection, ISO std. (2012).
- BS EN ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, ISBN 978 0 539 01414 3, The British Std.Inst., 2018.
- UKAS policy for participation in measurement audits and interlaboratory comparisons, UKAS, Edition 4, May 2019.
- P704 Yeterlilik deneyleri ve laboratuvarlar arası karşılaştırma programları prosedürü, Türk Akreditasyon Kurumu, Revizyon 11, 15.05.2020.
- BS EN ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment - General requirements for proficiency testing, ISBN 978 0 580 56522 9, Standards Policy and Strategy Committee, May 2010.
- EA-4/18: Guidance on the Level and Frequency of Proficiency Testing Participation, European accreditation, June 2010.
- A. Altintas, I. Kocas, Y. Durgut, J. Bartolo, M. Bergoglio, L. G. Bermanec, A. Bošnjaković, S. Burzić, A. Condereys, M. Dobre, P. Farar, P. Hetherington, N. Medina, W. Sabuga, O. Ott, T. Konczak, I. Sandu, J. Setina., D. Steindl, C. Vámosy, B. Waller, C. Wuethrich, A. Brzozowski, J. V. Geel, S. Saxholm, F. Arrhén, “Final report on key comparison EURAMET.M.P-K1.c in the range 0.7 MPa to 7.0 MPa of gas gauge pressure”, Metrologia, vol. 57, Number 1A, 2020.
- Alper, M. P., Ince, A. T. (2013, September). TS EN ISO/IEC 17043 Yeterlilik Testleri İçin Genel Şartlar standardına uygun olarak karşılaştırma ölçümlerinin organizasyonu, Paper presented at the 8th National Measurement&Science Congress
- Akredite kuruluşlar. (2021, 25 Eylül). Erişim adresi <https://www.turkak.org.tr>



Free Vibration Analysis of Composite Plate Stiffened by Lattice Structures

Serkan Güler*

* Iskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering, Hatay, Turkey,
(ORCID: 0000-0002-1552-3432), serkan.guler@iste.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1002158)

ATIF/REFERENCE: Guler, S. (2021). Free Vibration Analysis of Composite Plate Stiffened by Lattice Structures. *European Journal of Science and Technology*, (28), 407-410.

Abstract

Free vibration behavior of laminated composite plates stiffened by different lattice structures is considered. To simulate free vibration, finite element models were created with Ansys Parametric Design Language (APDL). In the models, SHELL181 and BEAM181 elements were used to model laminated composite and lattice structures, respectively. The influence of the different stiffeners lattice structures on natural frequencies of the composite plate is examined for the clamped-free-clamped-free boundary condition. The results showed that the frequency parameters of the stiffened composite structures made of the L2-type lattice are higher than those composed of other lattice types. This study provides an exciting opportunity to advance our knowledge of the usage of lattice structures as stiffener structures for composite plates.

Keywords: Composite, Stiffened plate, Free vibration, Finite element method, Lattice structures.

Kafes Yapılarıyla Pekiştirilmiş Kompozit Plakanın Serbest Titreşim Analizi

Öz

Farklı kafes yapıları ile pekiştirilmiş tabakalı kompozit plakaların serbest titreşim davranışı incelenmiştir. Serbest titreşimi simüle etmek için, Ansys Parametric Design Language (APDL) ile sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Modellerde tabakalı kompozit ve kafes yapıların modellenmesinde sırasıyla SHELL181 ve BEAM181 elemanları kullanılmıştır. Farklı pekiştirici kafes yapılarının kompozit plakanın doğal frekansları üzerindeki etkisi, ankastre-serbest-ankastre-serbest sınır koşulu için incelenmiştir. Sonuçlar, L2 tipi kafesten yapılan pekiştirilmiş kompozit yapıların frekans parametrelerinin diğer kafes tiplerinden oluşanlardan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, kafes yapılarının kompozit plakalar için pekiştirici yapıları olarak kullanımına ilişkin bilginizi artırmak için ilgi çekici bir fırsat sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Pekiştirilmiş plaka, Serbest titreşim, Sonlu eleman metodu, Kafes yapıları.

1. Introduction

Thin-walled structures are broadly used to build aerospace structures in the aerospace industry. To produce thin-walled structures, composite materials are commonly utilized due to their outstanding lightweight and strength. Although the thin-walled composite structures have strong tensile strength, they need reinforcing for shear, compression, and bending loads [1]. Using stiffeners is frequently preferred to reinforce the composite structures in the aerospace industry [2]–[4].

In the design period, predicting the resonance frequencies of any engineering structure is critical to avoid undesirable damages such as crack and fatigue, etc. The free vibration analysis is commonly utilized for calculating the natural frequencies of the engineering structure that may result in resonances. The finite element method is a trustworthy method for predicting dynamic responses for different sorts of engineering structures [5]. In this regard, the present study is concerned with the influences of different stiffeners lattice structures on natural frequencies of the composite plate for the clamped-clamped boundary condition. Therefore, the literature review is summarized in two sections. The first part is regarding the vibration of composite stiffened plates and the second is devoted to lattice structures.

There are numerous research articles concerning stiffened composite plates. Amongst these, Bhar et al. [6] performed finite element analysis of laminated composite stiffened plates. In this study, they used higher-order shear deformation theory and the first-order shear deformation theory to conduct static and free vibration analyses. Huang et al. [7] proposed an effective finite element modeling method for stiffened laminated composite plates. To model stiffeners, a curved beam element compatible with the shell element was introduced in the model. Damjanović et al. [8] performed free vibration analysis of composite stiffened plates using the dynamic stiffness method based on the higher-order shear deformation theory. In another article, the influences of the transverse shear deformation and the rotary inertia are considered for free vibration analysis of stiffened and cracked laminated composite plate assembly [9]. Zhang and Xu [10] calculated the static deformation of eccentrically stiffened plates. The stiffened plates were modelled plate and beam elements that are discretely connected to the plate elements for inquiring the eccentricity. Rajawat et al. [11] carried out the free vibration analysis of stiffened laminated plate using APDL. In the analysis, SHELL181 element was used to model composite plate. The consequences of the eccentricity of the stiffener, the number of stiffeners, and its positions were investigated on natural frequencies in that study. Geng et al. [12] proposed a new numerical scheme to determine the stiffened-plate composite structures' mid-frequency and dynamic response. Balkan et al. [13] examined the nonlinear dynamic behavior of a laminated composite stiffened plate subjected to the non-uniform blast and load. In this study, a composite sandwich beam was used as a stiffener. Sinha et al. [14] determined the effects of numbers, types and orientation of stiffeners, depth of stiffener to the thickness of plate ratio, and aspect ratio and boundary conditions of plates on natural frequencies of the composite stiffened plates. They also established a finite element model of composite stiffened plate for computing natural frequencies. Investigation of composite stiffened plates is still active research area [15]–[18]. In recent years, although much more information has become available on composite stiffened plates, there is limited study

dealing with free vibration analysis of composite plate stiffened by lattice structures to the best of the author's knowledge.

This study intends to analyse the effects of different lattice structures, which are used as stiffeners, for free vibration analysis of composite plate stiffened. Therefore, the literature on lattice structures is summarized as follow. Progression in additive manufacturing technology has brought about lattice structures that have a lightweight and mechanical efficiency ratio [19]–[22]. Most of the published studies have attempted to optimize lattice-structural materials [23], [24]. Azzouz et al. [25] examined the role of the three lattice structures' shapes on the compression, shear and bending strength. Yang et al. [26] provided an analytical method to divine the mechanical properties of sandwich lattice structures. In that study, a finite element model of the sandwich lattice structures was developed by using Timoshenko beam theory to predict deformation patterns. Yang et al. [27] evaluated the use of vibration-based defect recognition composite sandwich panels with corrugated lattice cores. They investigated how effects different sorts of flaws on modal characteristics by developing a finite element model in ABAQUS software. An et al. [28] tested the effectiveness of meta-truss lattice composite structures for providing vibration attenuation.

Thus, this article has aimed to assess the using different lattices as stiffeners for stiffened composite plates and their association with natural frequencies.

2. Finite Element Modeling

In this article, free vibration analysis of laminated composite plates stiffened with three different lattice structures was performed to determine their natural frequencies. The finite element method is a popularly practised technique to predict engineering structures' behaviour. Therefore, to calculate natural frequency, finite element models of stiffened laminated composite plates were generated. In the models, the ANSYS Parametric Design Language platform was used to establish the finite element models. The laminated composite plates and the lattices were meshed using SHELL181 finite elements and BEAM188 finite elements respectively.

To construct the finite element model of stiffened composite plates, firstly, three sorts of lattice structures were created. Figure 1 shows the line models of stiffeners lattices' cell structures, the dimensions are shown that used in the FE model in Figure 2. The lattices' cells were labelled with L_i ($i=1,2,3$).

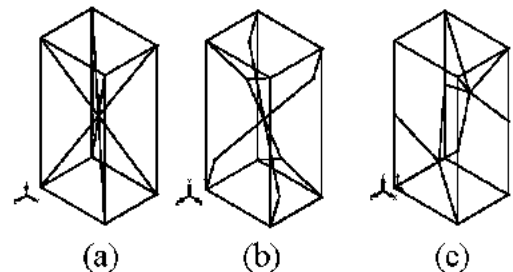


Figure. 1 Lattices' cell structures, (a) L_1 , (a) L_2 (b), L_3 (c).

In Figure 2, “ r ” represents the diameter of the beam of lattices cells, “ b ”, “ h ” and “ t ” indicate the width, height and thickness of the lattices' cells respectively.

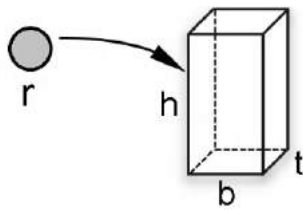


Figure 2. Dimensions of lattices and cross-section of the lattice beam.

The stiffened composite plates models were established as rectangles (see Figure 3). The schematic view of utilized symmetric lay-ups of the composites is illustrated in Figure 4. The ply angles of the composite plates were specified as [90°, -45°, 45°, 90°].

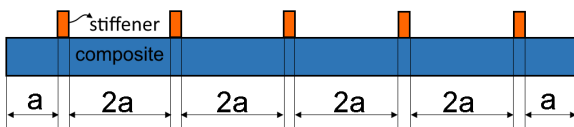


Figure 3. Exemplified illustration of the stiffened composite plates.

In Figure 3, the blue rectangle and orange rectangles illustrate composite plate and lattice structures respectively. Here, the offset between each stiffener, “a”, was described as $a = k_b \cdot b$. The width and length of the composite plate can be calculated as follow $B = 10 \cdot a + 5 \cdot t$ and $H = k_h \cdot h$, respectively.

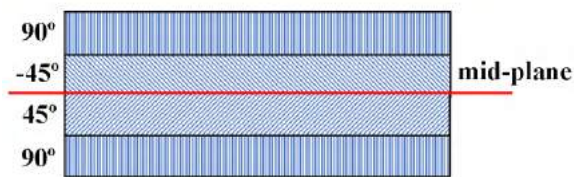


Figure 4. Angular lay-ups of the composite plates.

In the finite element models, stiffeners were constructed by placing “ k_h ” pieces of cells next to each other with the “ h ” side of the cell in the vertical position in the direction of the z-axis. In each finite element model, 5 stiffeners were used (see Figure 5) to construct stiffened composite plates. Simulations were carried out for the clamped-free-clamped-free boundary conditions.

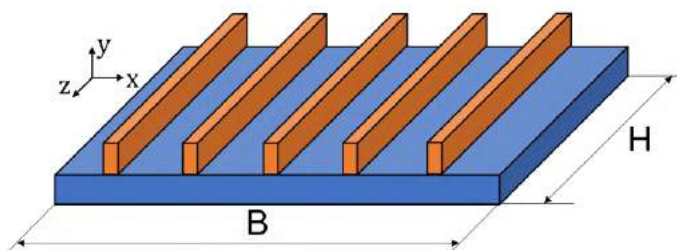


Figure 5. 3D view of the composite plate with the stiffeners.

3. Results and Discussion

Computed natural frequencies are presented by the natural frequency parameter that is defined as follow;

$$\mu_i = \frac{f_i}{m_L} \quad (1)$$

where, “ f_i ” (Hz) and “ m_L ” represent natural frequencies of the stiffened composite plates corresponding to the first three

fundamental bending modes in the x-z plane and the total mass of all stiffeners in the structure respectively.

Material properties of composite plates are $E_1 = 44.9$ GPa, $E_2 = 12.32$ GPa and $\rho_c = 2000$ kgm⁻³. Here, E_1 and E_2 are Young’s modulus along the fibre and Young’s modulus transverse the fibre respectively. The material properties of stiffeners made of Poly-lactic acid (PLA) are $E_L = 2$ GPa and $\rho_L = 1230$ kgm⁻³.

Dimensions of the lattice cells were specified as $t = 10$ mm, $h = b = 25$ mm, $k_b = 8$ and $k_h = 20$ for the stiffened composite structures.

The effects of the usage of the different lattices' cells the natural frequency parameters are demonstrated in Table 1 and 2. These results are given for the $r = 1$ mm and $r = 2$ mm diameter lattice beam.

Table 1. Natural frequency parameters for $r=1$ mm.

Vibration plane	Lattice type	Natural frequency parameters		
		μ_1	μ_2	μ_3
Bending (x-z)	1	62.54	172.29	338.03
	2	64.86	178.67	350.55
	3	59.02	162.59	319.04

It is observed that all the frequency parameters of the stiffened composite structures built from the L_2 -type lattice are greater than those constructed with other lattice types when Table 1 considered. A similar trend can be seen in Table 2 for the 2 mm diameter lattice beam.

Table 2. Natural frequency parameters for $r=2$ mm.

Vibration plane	Lattice type	Natural frequency parameters		
		μ_1	μ_2	μ_3
Bending (x-z)	1	14.43	39.73	78.01
	2	15.01	41.32	81.12
	3	13.57	37.40	73.43

4. Conclusions and Recommendations

The present study was designed to determine the effect of the different stiffeners lattice structures on natural frequencies of the composite plate to examine for the clamped-free-clamped-free boundary condition.

The results of this study indicate that the frequency parameters of the stiffened composite plates composed of the L_2 -type lattice are greater than those constructed by other lattice types. The results pointed out these designed stiffened composite structures may be used in many sorts of fields such as aeronautics, aerospace, construction and more.

References

- [1] Haim Abramovich, Ed., *Stability and Vibrations of Thin-Walled Composite Structures*, Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2018.
- [2] T. I. Thinh and N. N. Khoa, "Free vibration analysis of stiffened laminated plates using a new stiffened element", *Technische Mechanik*, vol. 28, pp. 227–236, Oct. 2008.
- [3] A. Cankurt, "Optimum design of composite stiffened panels with instability considerations," M. Eng. thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, India, Sept. 2013.
- [4] S. Sahoo, *Design Aids for Stiffened Composite Shells with Cutouts*, Springer, Singapore, 2017.
- [5] S.S. Rao, *Vibration of Continuous Systems*, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey (2007).
- [6] A. Bhar, S.S. Phoenix, S.K. Satsangi, "Finite element analysis of laminated composite stiffened plates using FSDT and HSDT: A comparative perspective", *Composite Structures*, vol. 92, pp. 312–321, Aug. 2010.
- [7] L. Huang, A. H. Sheikh, C.T. Ng, M.C. Griffith, "An efficient finite element model for buckling analysis of grid stiffened laminated composite plates", *Composite Structures*, vol. 122, pp. 41–50, Nov. 2015.
- [8] E. Damnjanović, M. Nefovska-Danilović, M. Petronijević, M. Marjanović, "Application of the dynamic stiffness method in the vibration analysis of stiffened composite plates", *Procedia Engineering*, vol. 199, pp. 224–229, Sept. 2017.
- [9] E. Damnjanović, M. Marjanović, M. Nefovska-Danilović, "Free vibration analysis of stiffened and cracked laminated composite plate assemblies using shear-deformable dynamic stiffness elements", *Computer Structures*, vol. 180, pp. 723–740, Nov. 2017.
- [10] S. Zhang, L. Xu, "Exact static analysis of eccentrically stiffened plates with partial composite action", *Composite Structures*, vol. 198, pp.117–125, May 2018.
- [11] A. S. Rajawat, A. K. Sharma, P. Gehlot, "Free vibration analysis of Stiffened Laminated Plate using FEM", *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp.5313–5321, Mar. 2018.
- [12] J. Geng, X. Zhang, C. Wang, Y. He, X. Chen, "Predicting dynamic response of stiffened-plate composite structures in a wide-frequency domain based on Composite B-spline Wavelet Elements Method (CBWEM)", *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 144, pp.708–722, Jun. 2018.
- [13] D. Balkan, Ö. Demir, A. Arıkoğlu, "Dynamic analysis of a stiffened composite plate under blast load: A new model and experimental validation", *International Journal of Impact Engineering*, vol. 143, pp. 103591, Sept. 2020.
- [14] L. Sinha, S.S. Mishra, A.N. Nayak, S.K. Sahu, "Free vibration characteristics of laminated composite stiffened plates: Experimental and numerical investigation", *Composite Structures*, vol. 233, pp.111557, Oct. 2020.
- [15] M. Zarei, G.H. Rahimi, M. Hemmatnezhad, "Free vibrational characteristics of grid-stiffened truncated composite conical shells", *Aerospace Science and Technology*, vol. 99, pp.105717, Jan. 2020.
- [16] J. Chen, Y. Zhong, Q. Luo, Z. Shi, "Static and dynamic analysis of Isogrid Stiffened Composite Plates (ISCP) using equivalent model based on variational asymptotic method", *Thin-Walled Structures*, vol. 163, pp.107671, June 2021.
- [17] Y. Wang, P. Qiao, "Improved buckling analysis of stiffened laminated composite plates by spline finite strip method", *Composite Structures*, vol. 255, pp.112936, January 2021.
- [18] Y. Wang, P. Qiao, "Postbuckling analysis of orthogonally-stiffened plates by a simplified spline finite strip method", *Thin-Walled Structures*, Vol. 166, pp.108122, September 2021.
- [19] X. Liu, Y. Li, Y. Lin, J.R. Banerjee, "Spectral dynamic stiffness theory for free vibration analysis of plate structures stiffened by beams with arbitrary cross-sections", *Thin-Walled Structures*, vol. 160, pp. 107391, March 2021.
- [20] P. S. Lee and G. McClure, "Elastoplastic large deformation analysis of a lattice steel tower structure and comparison with full-scale tests", *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 63, pp. 709–717, 2007.
- [21] M. C. Messner, M. I. Barham, M. Kumar and N. R. Barton, "Wave propagation in equivalent continuum representing truss lattice materials", *International Journal of Solids and Structures*, vol.73–74, pp. 55–66, 2015.
- [22] R. Guo, R. Liu, W. Jiang, K. Chen, J. Zhang, F. Huang and X. Sun, "Numerical Analysis on Static Mechanical Properties of the Periodic Multilayer Lattice Material," *Engineering*, vol. 3 (12), pp. 1149–1154, 2011.
- [23] J. Sun, Y. Yang and D. Wang, "Mechanical properties of regular hexahedral lattice structure formed by selective laser melting", *Laser Physics*, vol. 23, 066101 (9pp), 2013.
- [24] C. Pan, Y. Han, J. Lu, "Design and Optimization of Lattice Structures: A Review", *Applied Sciences*, vol.10(18),p. 6374, Sept. 2020.
- [25] L. Azzouz, Y. Chen, M. Zarrelli, J. M. Pearce, L. Mitchell, G. Ren, M. Grasso, "Mechanical properties of 3-D printed truss-like lattice biopolymer non-stochastic structures for sandwich panels with natural fibre composite skins", *Composite Structures*, vol. 213, pp.220-230, Jan. 2019.
- [26] Y. Yang, M. Shan, L. Zhao, D. Qi, J. Zhang, "Multiple strut-deformation patterns based analytical elastic modulus of sandwich BCC lattices", *Materials & Design*, vol. 181, pp. 107916, 2019.
- [27] J.S. Yang, Z.D. Liu, R. Schmidt, K.U. Schröder, L. Ma, L. Z. Wu, "Vibration-based damage diagnosis of composite sandwich panels with bi-directional corrugated lattice cores", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 131, pp. 105781, Jan. 2020.
- [28] X. An, C. Lai, W. He, H. Fan, "Three-dimensional meta-truss lattice composite structures with vibration isolation performance", *Extreme Mechanics Letters*, vol. 33, pp. 100577, Sept. 2019.



Speed Compatible Green Wave Corridor with The Internet of Things

Özgür Kart^{1*}, Osman Çağrı Genç², Fatih Başçiftçi³

^{1*} Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7004-8419), ozgurkart42@hotmail.com

² Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0323-2379), osmcrgenc@gmail.com

³ Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1679-7416), bascifitci@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1002363)

ATIF/REFERENCE: Kart, Ö., Genç, O. Ç., & Başçiftçi, F. (2021). Speed Compatible Green Wave Corridor with The Internet of Things. *European Journal of Science and Technology*, (28), 411-416.

Abstract

Today, Intelligent Transportation Systems are becoming more and more common. Green wave systems in Smart Transportation Systems are used with fixed values of which phase duration is preset and the total cycle time does not change. It is needed for these systems to include the smart transportation class and adapt to the environment. With this study, the green wave system has been realized by transforming the green wave system into Intelligent Transportation Systems on a corridor with varying phase duration. Data collection points on the green wave corridor, speed detection points, and junction control devices were communicated and the duration of the junctions was changed according to the traffic density, and the waiting times of the other vehicles and pedestrians in the corridor were reduced and traffic safety was increased.

Keywords: Intelligent Transportation System, Speed adaptive green wave, Green wave

Nesnelerin İnterneti İle Hız Uyumlu Yeşil Dalga Koridoru

Öz

Günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemleri içerisinde yer alan yeşil dalga sistemleri ise faz süreleri önceden ayarlanmış sabit değerler ile toplam çevrim süresi değişmeyen yapısıyla kullanılmaktadır. Bu sistemlerin akıllı ulaşım sınıfına girmesi ve çevreye uyulanması gerekmektedir. Bu çalışma ile yeşil dalga sistemini Akıllı Ulaşım Sistemlerine dönüştürerek bir koridor üzerinde değişen faz süreli yeşil dalga sistemi gerçekleştirilmiştir. Yeşil dalga koridoru üzerindeki veri toplama noktaları, hız tespit noktaları ile kavşak kontrol cihazlarının haberleşmesi sağlanarak kavşakların faz sürelerinin trafik yoğunluğuna göre değişimi ile koridordaki diğer araç ve yayaların bekleme süreleri azaltılmaya ve trafik güvenliği artırılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ulaşım Sistemleri, Hız Uyarmalı Yeşil Dalga, Yeşil Dalga.

1. Introduction

Systems used in information and communication technologies such as infrastructure, vehicle, traffic management, and movement management in other types of transportation along with road transportation are called Intelligent transportation systems [1]. There is an increase in smart transportation systems day by day. Smart junctions, green wave corridors, variable message systems, speed detection systems, etc. systems are aimed to relieve traffic, make human life easier, reduce traffic accidents and loss of lives. Figure 1 shows the smart transportation system infrastructure [2].

Roads in residential areas where traffic is heavily used are called arteries. it is aimed that a vehicle can proceed without any hesitation in multiple arteries used in green wave corridors. A fixed speed plan is implemented on such roads. For example, in an artery with a 30 seconds green period wave for cars, it is aimed to give way to pedestrians at regular intervals. In this process, traffic intensifies, and heavy traffic occurs with vehicles that want to enter the artery through secondary roads. As the Internet of Things (IoT) technology increases in intelligent transportation systems, a traffic system that can be self-managed and works in accordance with variable time and variable speeds can be created. Traffic lights are aimed at traffic safety rather than speeding up traffic. Intelligent transportation systems bring safety and speed as well as safety with the Internet of Things technology.



Figure 1. Intelligent Transportation System

Especially metropolitan cities with heavy traffic problems use the Urban Simulation of Urban Mobility (SUMO) program with the help of developing technology [3]. Because traffic does not have a precise model of traffic flow due to its high complexity and chaotic organization, researchers often try to predict traffic using simulation programs. In this area, many simulation packages are found in the software architecture paradigm and differ in the models that define traffic itself. Unlike most other simulation software packages, SUMO is an open-source program that a researcher can adapt and use to their needs [4]. It has a fuzzy logic control and Proportional Integral (PI) type control based traffic light controller, light controls design. The results can be compared with traditional fixed phase times, fuzzy logic-based, and PI-based control [5].

Intelligent Traffic System (ITS) is one of the newest research topics on the Internet of Things. Due to the increasing number of vehicles, traffic jams can occur in settlements. Most traffic light control systems still use stand-alone systems where each traffic light junction is manually identified by officers. This causes traffic lights to fail to adapt to traffic density, which often results in cars accumulating and traffic jams [6]. To reduce traffic jams,

it is necessary to provide an open road to vehicles in the urban area. Considering that it consists of traffic and connection points (junction, terminal, station, etc.), it can be stated that the creation, renewal, and management of these systems are of great importance for the solution of the problems that occur.

In this study, the simulation results in the SUMO software were analyzed by using the fixed-time conventional green wave corridor and the information to be obtained from IoT supported devices, vehicle counting and speed determinations, and variable-time green wave corridor.

2. Material and Method

2.1. Internet Of Things

The Internet of Things (IoT) concept was first described in 1999 in a presentation by Kevin Ashton, using the application of Radio Frequency Identification (RFID) technology in a firm's supply chain, and its use and benefits [7]. IoT can be defined as a network structure where the machines exchange data among themselves, without the need for human intervention and data entry, the devices collect information and self-decide with the information collected. In other words, IoT can also be defined as the ability of addressable objects in a network to create communication among themselves with a specific protocol [8].

While there were 4.9 billion devices on the internet in 2015, a report published by Gartner stated that the number of Internet-connected objects increased by 16% in 2017 compared to 2016, and 8.4 billion objects will be used worldwide [9]. Today, around 30 billion devices are used. It is expected to reach 75 billion devices in 2025 [10]. As can be seen from this data, the IoT market is growing and becoming more and more common in many parts of our daily life, starting with the adoption of smartphones and computers, including smartwatches and wristbands, smart televisions, smart home appliances, and even smart cars. Figure 2 shows many areas where IoT is used [11]. It shows some of the studies in the fields of Smart Home, E-Health, Smart Environment, Smart Water, Smart Agriculture, Smart Livestock, Smart Energy, Smart Cities, Smart Measurement, Industrial Control, Security and Emergency Situations, Shopping, Logistics [12]. In the near future, as a result of the data exchange between the internet and the objects, they will be able to order the number of eggs in your refrigerator at home, whether they are finished or not, as required by your market. For example, when traveling in traffic, your car, which detects traffic jams, conveys to your family or the person you will gather that there may be a delay in your arrival; you may think that your portable medical device, which measures your blood pressure continuously, tells your doctor that your blood pressure is changing, rising or falling by SMS [13].



Figure 2. IoT Usage Areas

2.2. Speed-Warning Green Wave

Green wave system; It is a signaling system created in order to avoid stopping at the red light in succession at traffic lights located at short distances in the main arteries. The system, which makes it possible to switch all traffic lights in green when traveling at a certain speed on the selected routes, thus enables time and fuel savings. Figure 3 shows a path using the green wave.



Figure 3. The road and sign indicating that the green wave is used

In addition to standard green wave systems, it is to determine the speed of vehicles with radar systems by aiming to maintain speed. A digital tracking system (VTS - Vessel Traffic System) is shown in Figure 4, indicating the Green wave system. To ensure that the vehicles complete the corridor at average speeds with time changes in the traffic lights and the pedestrians cross the road safely when there are few or no underground vehicle counters.

There are two important items at the heart of this idea.

- Speed detection with radars.
- Vehicle counting system.



Figure 4. A VTS showing the speed limit indicating the green wave area.

2.3. Adding Radar On the Corridor

The radar is based on the principle of returning to the transmitter by reflecting after the radioelectric waves, which are published as a very narrow and short-term beam, hit an obstacle. The word Radar was created by shortening the initials of the words Radio Detecting and Ranging, which means finding and locating with Radio in English. The RADAR vehicle sends radio waves towards the car approaching it. Waves that hit the incoming vehicle and measure the speed of the vehicle according to the round-trip time. By measuring the average speeds of the vehicles passing on the corridor, the phase duration of the junctions in the corridor will be determined. These phase times will give us the

elapsed time between two junctions. The new generation radar view is shown in figure 5.



Figure 5. A radar system implemented in Uşak

The IoT device, which controls the radar system, records the data determined by the average speed of the vehicle and the data related to the speed of the first vehicle. By sending this information to the junction controller, it provides the speed parameters in the system.

3. Results and Discussion

3.1. Counting vehicles with Bluetooth, RFID, and Loop Detector

The Internet of Things was first used in 1999 by Kevin Ashton in a presentation on the benefits of Radio Frequency Identification (RFID) technology for P&G [13]. With the IoT-based smart traffic information system, data were obtained with RFID tags and detection devices. This data is aimed to reduce the density and environmental pollution in traffic by using traffic simulation modeling in the NetLogo program [7]. Today, the Fast Pass System (HGS), Automatic Pass System (OGS), secure site and car park entrances, etc. RFID cards used in places are found in many vehicles. The realistic time between two locations can be calculated by tracking these cards.

An example of an RFID tag reading process is given in Figure 6. With this example, the entry time of a vehicle with an HGS label is determined. Since the same system is also at the highway exit, the time taken by a vehicle between two points can be calculated.



Figure 6. Ankara highway entrance HGS reading point

Bluetooth; It is a wireless communication protocol that was first created by Ericsson in 1994 to connect and communicate

with mobile phones and other mobile devices wirelessly using short-range radio frequency (RF) signals [14].

It is used for 2 main purposes.

- To pair the devices with each other and enable them to communicate with each other.
- Enabling wireless file exchange.

For these 2 purposes, while the Bluetooth modules are communicating, one takes the master position and the other takes the slave position. The module, which is in the master position, organizes communication and is the party that sends the data. The device in slave state is the address where the data is sent in this communication. After the master and slave position is set by Bluetooth technology, data transfer starts between two different electronic devices. The devices used can be fixed or portable. Thanks to Bluetooth, a connection is created between devices. Within this network, many transactions such as data exchange, information transfer, using the printer, sending e-mail are performed. Different devices in the same production environment can be monitored and kept under control.

Loop Detectors create an electrical magnetic field thanks to the copper cable laid on the ground. Loop detectors are also called Metal Mass Detectors. It is mostly used in parking systems, opening and closing of barriers automatically, during automatic issuance of tickets. It is also used to detect whether a vehicle is on asphalt. By connecting a few rounds of cables to the ground to the loop detector card, an electromagnetic field will be created on the asphalt. Thus, the determination of metal density is carried out with changes in this electromagnetic field. With any metal passing over this ground, that is, the electrical field, they perform the commands we want thanks to the settings on it. Thus, vehicles can be detected and the traffic load at the crossroads can be measured and unnecessary waiting will be prevented [15].

Devices such as Beagleboard Beaglebone, Raspberry Pi; where microprocessors are insufficient to perform operations, where computers are required to be used, these devices are defined as a computer that can perform more operations, is cost-effective and contains only necessary hardware [16]. Figure 7 shows the Raspberry Pi and Beagleblone Black devices [17].

IoT BeagleBlone, Raspberry Pi devices; can be integrated with loop detector, RFID reader, Bluetooth detectors. Thanks to the features of these devices, the vehicle number information passing through the points where the devices are located is determined, and the information obtained is sent to the junction control devices [18].

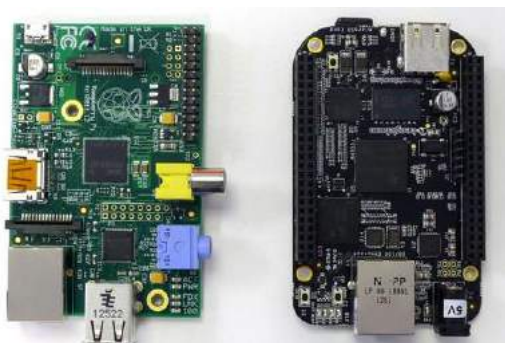


Figure 7. Raspberry Pi (on the left) and Beagleblone Black

After the vehicle number information is received from the Loop detector, RFID reader, and Bluetooth devices, the vehicle number values are entered in the SUMO program, we can calculate the times on the corridor and adjust the status of the next traffic light. At the same time, knowing that the vehicle is present or not, we can give way to the pedestrians or vehicles coming from the secondary road. You can gain extra functions with the scripts that will be integrated into this program. Various traffic algorithms can be created with these functions. Vehicle detection speed detection scripts integrated into the SUMO program were implemented with an algorithm created by introducing them like an IoT device.

As a result of these studies, we can determine the speed of that artery, increase the life safety, average speeds, and density in the artery by controlling vehicle counting and speeds on routes with green waves. We can also inform other devices on the system.

The principle “continue with the same speed and do not wait in the traffic lights” which is used in the green wave system can be applied not only to the vehicles on this road but also to the pedestrians and the vehicles on the secondary road.

In Figure 8, a 3-point green wave corridor is drawn on the SUMO application. The counting of the vehicles is done using loop detectors.

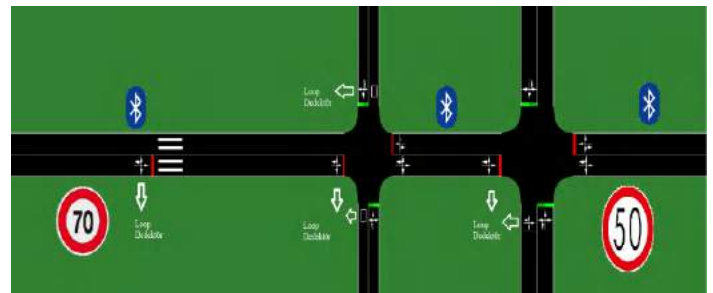


Figure 8. The green wave corridor has drawn on SUMO software and the Bluetooth, Loop detector application, and speed limits

3.2. Counting vehicles with Bluetooth, RFID, and Loop Detector

3.2.1. Algorithm and Flow Diagram

The green wave is that, at successive signaling junctions, the drivers progress regularly at a certain speed without getting caught in the red light. In Figure 9, there is the traditional green wave algorithm. In this algorithm, the duration of the junctions that form corridors with each other is given fixed at the beginning. Accordingly, it is checked whether only the phase change period has come. Adaptive green waves can adjust real-time traffic status, signal times according to demand and system capacity. It is a system that generates signal times according to the number of vehicles on the sensors located at a certain distance at the entry and exit of each junction arm and the occupation data. When the traffic volume is larger than normal, the detector records this information and sends it to the control unit. The controller turns the red light green in turn and changes the total phase length to keep traffic volume in balance. Adaptive systems are the most ideal systems that minimize total delays, as they provide the right

to pass according to the instantaneous values of traffic densities [19].

The algorithm of the traditional green wave system:

Program green wave

1. Start
2. Read the value of cev_sure
3. Read offset_sure value
(at what intervals they should start).
4. Start sure
5. Does the system and lamp work?
6. If ariza_durum = 0, system = 0; Go to 7th step,
if not system = 1; Go to 11th step.
7. Read the value of faz_sure
8. If phase_time = 0, go to the 9th step,
if not, go to the 10th step.
9. change the Phase
10. Go to the 5th step, system and lamp control
11. End

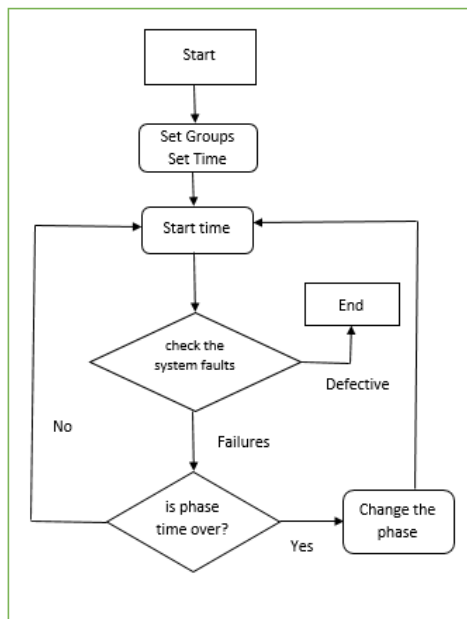


Figure 9. Traditional Green Wave Algorithm

Unlike traditional green wave systems, it receives more field data input using IoT and processes this data to an improved algorithm. It applies the outputs resulting from the operation of the algorithm at the traffic lights on the road. In an IoT-supported green wave corridor, green wave coordination is achieved by making phase changes of the lamp groups with the help of values obtained from IoT devices. In Figure 10, the green wave coordination algorithm with IoT support is described. In this algorithm, the start times are fixed, and the data of the IoT devices are analyzed every second and the phase changes of the groups are made. When data cannot be received from IoT devices, the algorithm is terminated by switching to the traditional green wave mode.

The algorithm of the IoT based green wave corridor:
Program green wave with IoT support

1. Start
2. Read the value of Faz_sure
3. Start Sure
4. If Detector = 1, go to the 5th step.
If not, go to the 6th step.
5. Continue in custom mode.
6. If there is a vehicle, go to the 7th step. If there is no vehicle, go to the 8th step.
7. Calculate the ort_hiz value
8. it is calculated when the first
the vehicle will arrive at the groups.
9. Phase status control of the groups is
done. If there is no need to change, go
from Sure to 3rd step. If necessary, go
to the 10th step.
10. Phase change is made in the related
group.
11. Go to 3rd step.

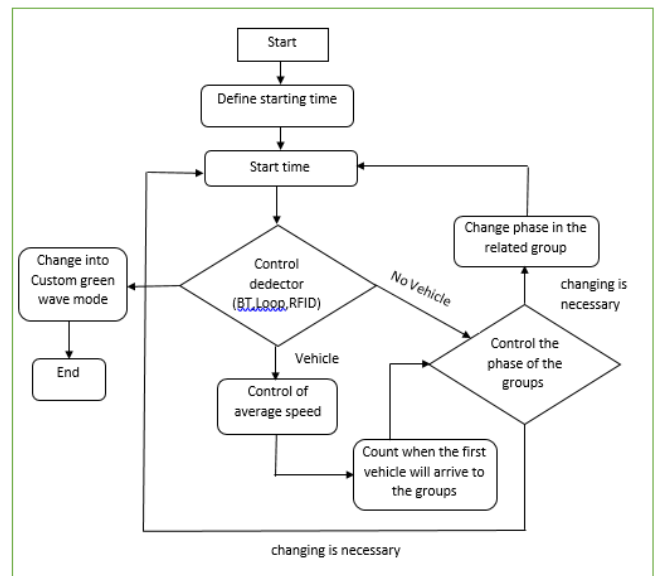


Figure 10. IoT supported Green Wave Algorithm

4. Conclusions and Recommendations

Today, traffic lights are used to ensure traffic safety, which leads to an increase in traffic density. Attempting to regulate this problem by applying green waves only at junctions that occur in the straight artery only benefits the intensity following that route. As a result of these researches, it is determined that the speed of the artery, the increase of life safety, the average speed, and the density of the vehicles in the artery are determined by controlling the vehicle number and speeds on the routes with green waves. In addition, information is sent to other devices on the system.

The traditional green wave is coordinated traffic signaling, which is created for drivers to progress regularly at a certain speed without catching red light, especially in successive signaling junctions. Adaptive systems, on the other hand, are the most ideal systems that minimize the total delays because they provide the right to pass according to the instantaneous values of traffic densities.

The main conclusions of the study should be summarized in a short Conclusions section.

Table 1. Comparison of traditional green wave and Adaptive green wave

Daily Data Types	Traditional	Adaptive
Total Number of Vehicles	10000	10000
Total Waiting Time (sec)	9568	7612
Total CO2 emissions (kg)	105	70
Average Speed	50	60

A road simulation with 10000 vehicles was created using SUMO traffic simulation software. As a result of the simulation, the values in Table 1 were obtained.

For vehicles moving on the road, the reduction in waiting times has caused both speed, less fuel consumption, and less time loss. A 20% reduction in waiting time reduces environmental pollution and saves fuel.

Even if the average speed is expected to be equivalent to the determined speed in the green wave corridor, the deficiency in the traditional system could not provide this value. When the time is calculated according to the number of vehicles, we see that the average speed increases by 20%.

References

[1] Tufan H., 2014, Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye İçin Bir Aus Mimarisi Önerisi. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı.

[2] Turan M. C., 2011, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Araçsal Ağların Kullanıldığı Adaptif Seyir Kontrol Sistemi Benzetimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü.

[3] SUMO - Simulation of urban mobility, www.sumo.sourceforge.net.,[Visited:03.01.2020]

[4] Krajzewicz D., Feld C., Wagner P., 2002, SUMO (Simulation of Urban Mobility), An open-source traffic simulation, 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling, pp 183-187. <https://www.researchgate.net/publication/224793504> [Visited: 06.01.2020].

[5] Tunc İ., Söylemez M., 2019, Kavşak Yönetiminde Bulanık Mantık ve PI Kontrol Yöntemlerinin Benzetimi, TOK'2019 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 11-14 Eylül 2019, Muğla.

[6] Guberinic S., Senborn G., &Lazic B., 2008, Optimal Traffic Control: Urban Intersections, CRC, Broken Sound Parkway NW, 2008.

[7] Kutup N., 2011, Nesnelerin İnterneti; 4H Her yerden, Herkesle, Her zaman, Her nesne ile bağlantı, 16. Türkiye'de İnternet Konferansı, 30 Kasım – 2 Aralık 2011, Ege Üniversitesi, Bornova, İzmir.

[8] Türkiye Bilişim Derneği, Aylık Bilişim Kültür Dergisi Sayı 159, Kasım 2013, sayfalar 89-94, e-ISSN: 2148-2683

<https://www.bilisimdergisi.org.tr/bilisim-dergisi-sayilari/s159.pdf> [Visited: 20.12.2019]

[9] Gartner Araştırma Şirketi, 2017, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07-gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016> [Visited: 23.01.2020]

[10] Claveria K., 2019, <https://www.visioncritical.com/blog/internet-of-things-stats#> [Visited: 24.01.2020]

[11] Aktaş F., Çeken C., Erdemli Y.E., 2014, Biyomedikal Uygulamaları için Nesnelerin İnterneti Tabanlı Veri Toplama ve Analiz Sistemi, Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, 25-27 Eylül 2014, pp 299-302.

[12] Al-Sakran H. O., 2015, Intelligent Traffic Information System Based on Integration of Internet of Things and Agent Technology, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 6, No. 2, pp 37-43. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2015.060206>.

[13] Ashton K., 2009., That 'Internet of Things' Thing., RFID Journal 2009, <http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986> [Visited: 22.12.2019]

[14] Haartsen J.,1998, Bluetooth the universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity. Ericsson Review Vol. 75 (1998): 3, pp. 110-117. https://www.researchgate.net/publication/290790635_Bluetooth_-_the_universal_radio_interface_for_ad_hoc_wireless_connectivity

[15] Zhang X., Wang Y., Nihan N. L., and Hallenbeck. M. E.,2003, Development of a System for Collecting Loop Detector Event Data for Individual Vehicles., Transportation Research Record, No. 1855, 168-175. http://faculty.washington.edu/yinhai/wangpublication_files/TRB_03_LD.pdf.

[16] Patil M., Raghuvver K.,2015, International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol.4 Issue.4, April- 2015, pg. 532-540

[17] Smith T.,2013, Review: Beagleboard Beaglebone Black https://www.theregister.co.uk/2013/06/11/review_beagleboard_beaglebone_black/ [Visited: 15.01.2020]

[18] Bachmann C., Roorda M., Abdulhai B., Moshiri B., 2012, Fusing a Bluetooth Traffic Monitoring System with Loop Detector Data for Improved Freeway Traffic Speed Estimation, Journal of Intelligent Transportation Systems, 30 November 2012, <https://doi.org/10.1080/15472450.2012.696449>.

[19] Gülsün B., Gonca C. K.,2019, Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri, OHS ACADEMY İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi, Cilt 2, sayı 1,30 Nisan 2019, sayfalar 32-40. <https://dergipark.org.tr/pub/ohsacademy/issue/44841/516737>



Analysis of Risk Factors in the Scope of Distributed Software Team Structure

Canan Batur Şahin^{1*}, Özlem Batur Dinler², Laith Abualigah³

^{1*} Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Software Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2131-6368), canan.batur@ozal.edu.tr

² Siirt University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Siirt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2955-6761), o.b.dinler@siirt.edu.tr

³ Amman Arab University, Faculty of Computer Sciences and Informatics, Department of Software Engineering, Amman, Jordan, (ORCID:0000-0002-2203-4549, aligah.2020@gmail.com)

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS)- 1-3 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004765)

ATIF/REFERENCE: Batur Şahin, C., Batur Dinler, Ö. & Abualigah, L. (2021). Effect of Risk Factors on Distributed Software Team Structure. *European Journal of Science and Technology*, (28), 417-424.

Abstract

The structure of a distributed software team represents a type of development that enables team members to be available at different remote locations throughout the software lifecycle. Therefore, it forms a network of remote sub-teams. Nowadays, the development of software projects with geographically remote teams obligates flexible software development environments. In this case, it is of great significance for software managers to organize and administer the distributed team management well. With the inclination of distributed teams across countries and regions, more stakeholders are being brought onto the scene of software projects. While risk management is the most important assurance of obtaining the expected result from the project, these processes should be considered the common responsibilities and commitment of the stakeholders involved in the project in all fields. The 'in-house' development of the software poses a series of risks. Meanwhile, its partial development in another geography causes the risks in question to increase exponentially. The management of risks should start at the initial stages of the project and continue as a monitoring and follow-up activity throughout the life-cycle of projects. Within the scope of this study, the process steps developed to manage the main risk factors in the distributed team structure in accordance with the Capability Maturity Model Integration (CMMI) instead of the conventional project management approach are explained in detail. Moreover, this study aimed to reveal the components involved in the risk management process regarding the distributed software development.

Keywords: Capability Maturity Model Integration, Distant Project Development, Distributed Software Team, Remote Communication, Risk Factors.

Risk Faktörlerinin Dağıtık Yazılım Ekibinin Yapısı Kapsamında İncelenmesi

Öz

Dağıtık yazılım ekibi yapısı, ekip üyelerinin yazılımın yaşam döngüsü boyunca farklı uzak yerleşkelerde bulunmasını sağlayan bir gelişim türünü temsil etmektedir. Bu nedenle, uzak alt ekiplerden oluşan bir ağ oluşturmaktadır. Günümüzde yazılım projelerinin coğrafi olarak uzak ekiplerle geliştirilmesi, yazılım geliştirme ortamlarının esnek olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durumda yazılım yöneticilerinin dağıtık ekip yönetimini iyi organize etmeleri ve yönetmeleri büyük önem taşımaktadır. Ülkeler ve bölgeler genelinde dağıtık ekiplerin eğilimi ile yazılım projeleri sahnesine daha fazla sayıda paydaş getirilmektedir. Risk yönetimi, projenin beklenen sonucunu elde etmenin en önemli güvencesi olmakla birlikte, söz konusu süreçler, projede yer alan paydaşların her sahadan ortak sorumlulukları ve taahhüdü olarak düşünülmelidir. Yazılımın 'kurum içi' geliştirilmesi bir dizi riske yol açmaktadır. Aynı zamanda kısmen başka bir coğrafyada gelişmesi söz konusu risklerin katlanarak artmasına neden olmaktadır. Risklerin yönetimi, projenin erken aşamalarında başlamalı ve projelerin yaşam döngüsü boyunca bir izleme ve takip çalışması şeklinde devam etmelidir. Bu çalışma kapsamında da, dağıtık ekip yapısındaki ana risk faktörlerinin geleneksel proje yöntemi yaklaşımı yerine Yetenek Olgunluk Model Entegrasyonu (CMMI) uyarınca yürütülmek üzere geliştirilen süreç adımları detaylı olarak anlatılmaktadır. Ayrıca bu çalışma, dağıtık yazılım geliştirme ile ilgili risk yönetimi sürecinde yer alan bileşenleri ortaya çıkarmayı amaçlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yetenek Olgunluk Modeli Entegrasyonu, Uzaktan Proje Geliştirme, Dağıtık Yazılım Ekibi, Uzaktan İletişim, Risk Faktörleri.

* Corresponding Author: canan.batur@ozal.edu.tr

1. Introduction

Various companies working globally carry out projects with distributed teams working in distant regions or in different countries. In distributed teams, the most common challenges are security, control, visibility, and communication. Therefore; Distributed teams should work in coordination to overcome these difficulties.

The most important risk group in remote access project management is the risks arising from communication. Because; Direct face-to-face communication is not possible between remote access team members. Therefore, communication between team members is more difficult and more formal. For this reason, the necessary trust environment cannot be created among the team members. In such project management; For a more effective and healthy communication; The infrastructure of various communication tools such as cameras, teleconferencing, instant messenger, video chat, screen sharing (screen sharing software), e-mail, instant message must be installed and widely used.

Distributed Software Development (DSD) includes the work of teams in collaboration for the purpose of achieving project targets. In DSD, it is possible that development sites are physically distributed within a country or worldwide, including numerous countries [6].

Members of teams are separated geographically, work in various time zones, establish simultaneous communication, and exchange information not depending on physical boundaries and time difference [8]. Various problems arise within the group due to the geographical location and different time intervals of the multinational project groups because of working geographically separately. For example; Intra-group communication, sharing and the successful completion of the project pose significant risks for multinational projects. In order to prevent such risks, information management should be provided in a professional manner. The need to divide the teams into regions according to the distributed team organizational structure, to structure the information sharing between teams within a certain time schedule, to organize the management of cultural differences, to organize the work environments and to draw up coordination plans for the studies to produce consistent results, created the need to categorize risk syntheses into different field definitions. Project supervisor; clearly and clearly express and share the work and task distribution between teams. Distributed team members should be aware of the work each team member will be doing and that they do not work in isolation from each other. Using an online tool as Assembla, FogBugz and Jira to track the completed or approved works by team members and other project members during the execution of the project. The risk management procedure in distributed teams comprises from above milestones. In distributed software development processes; effective use of written communication; It reduces project risks arising from the management of the requested changes. Because requests made by written communication are recorded. Determining customer requirements by remote access, not understanding or understanding the requirements clearly creates a high degree of risk for the project.

Four different decision techniques have been synthesized in order to bring the existing team in distributed geographic structures closer to the desired cultural structure. These are Planning, Control, Social integration and Technical integration techniques. Planning techniques; distributed in project design and

organization. It is effective in running the contents effectively. Control techniques assist in facilitating the follow-up of process developments across regions and managing discrepancies between associated plans.

Social integration techniques; Increasing the compatibility of team members within a common structure and managing cultural differences between regions. Technical integration techniques; It ensures that the communication and infrastructure technique between the regions is completed and its integrity is increased.

The problems that may arise in distributed software development processes and the problems that pose a high risk for the project; Communication Problems: Problems arising from the lack of clear information flow between project group members. In such projects, synchronous communication tools such as video conferencing should be preferred for a healthy and cheap communication. Coordination Problems: Time, labor, cost, etc. arising from disconnected and incompatible work of project group members. it is a waste of resources. Therefore, the project manager should be in frequent contact with the project group members, motivate the employees and establish a strong coordination among the employees. Control Problems: It is the failure of the project manager to intervene at the right (when required) due to any problems that may occur in the project (for example, time, cost, etc.) Therefore, the project manager should be a good follower by using simultaneous and asynchronous communication tools in distributed team projects. Information Management Problems: Information management in projects developing distributed software is more difficult than non-distributed software development projects. Because; In such projects, management is carried out by remote access. In order to prevent information management problems, firstly, communication problems that may arise both within and outside the group must be resolved and secondly, the information to be transmitted must be conveyed to the right person or persons without misrepresenting it. Technical Process and Infrastructure Problems: It is a basic requirement to prepare the necessary technical process and infrastructure conditions for each project structure in order to carry out projects developed in distributed teams or non-distributed teams. If sufficient technical operation or infrastructure conditions cannot be provided, it makes it inevitable for the project to fail [16].

In recent literature, many opinions have been put forward to overcome the difficulties encountered in risk management with distributed team organization. However, there has not been a comprehensive study on the process steps compatible with Capability Maturity Model Integration (CMMI) developed to eliminate the side effects of the structuring of team organizations in this structure on risk management. In this study, it is emphasized that especially CMMI process steps concentrate on risk management, and the risks are identified and analyzed before they occur within the project. Afterwards, specific risk factors were identified in order to be able to characterize the defined risk areas. Thus, project managers defined risk planning activities designed in distributed team structures throughout the software life cycle, including risk areas and characteristic factors. These factors include the compatibility of the team members' understanding and competency differences, the attitudes, behaviors and the personalities of the team members, the compatibility of the team members with the corporate culture. It is determined according to which style and methods the teams will work as a measure of the distributed geographic functionality of technology as a means of gathering and sharing information.

The outline of this paper is as follows. In the next section, we provide a related works. Section III provides methodology. We then present results in Section IV, and outlines the summary and conclusion in Section V.

2. Related Works

In this section, it is examined how project-, team-, and risk-related management may affect coordination needs and whether it has been indicated that characteristics influence the performance of teams. [1] conducted a literature review on risk management practices and methods in the design and development of products. The mentioned study also investigated the types of evidence utilized to assess the efficiency of risk management activities. [2] shared the results of an exploratory study on the coordination needs of teams, particularly when unfamiliar or complex tasks are encountered. Finally, this research argues that it is important to satisfy the coordination needs of teams to achieve the targeted performance. (ISO 31010) recommended practices beneficial for practitioners and researchers because they ensure a framework to understand and navigate the literature, which may also assist organizations in tailoring their risk management. [3] investigated the change in coordination through scheduled and unscheduled meetings in the course of time in two large software development programs. The transition from scheduled to unscheduled meetings and vice versa was obtained in the results. [6] suggested a task allocation framework consisting of two stages. The first stage is to identify factors and dependencies, which significantly affect the task allocation decision. The second stage is to suggest a quantitative method, allocating tasks to team members matching the requirements of the task in the best way. Furthermore, this method ensures the quality assessment of task-member assignment in the course and following the completion of the project, towards bringing related risks to a minimum. [9] focused on investigating the resilience of teams influenced by two adversities that were unique to project team composition and project dynamics. [16] performed the development of a comprehensive process compliant with CMMI, the maturity model of the Software Engineering Institute to evaluate and enhance organizational processes. [17] developed an automated decision support system to help practitioners evaluate risks and make a decision on appropriate control strategies. The findings demonstrate that the introduced decision support system provides support in the decision-making process in assessing risks and selecting a control strategy. [7] identified by conducting an empirical study at five various projects of an enterprise and the geographical distance challenges in distributed software development. As a result, it was stated that geographical distance-based challenges constitute risks for communication, coordination, and control process in distributed software development. [10] carried out the integration of the risk management process in the Scrum framework, a commonly utilized agile method. The findings indicated the significance amount of the identified critical risk. [8] conducted a survey of a number of research articles employing soft computing (SC) techniques, primarily in risk management, software quality, software reliability, software maintenance, and project management. [13] conducted an overview of an extensible blockchain enabling decentralized compliance adherence and governance framework for distributed software delivery to introduce transparency and trust in the activities of distributed teams in global software delivery.

3. Material and Method

This paper investigates the main approach by addressing the challenges of risk management involved in the structure of distributed team organizations.

3.1. Process Architecture of Distributed Team Buildings

Distributed team organization structuring of the risk management process is handled in 3 fundamental steps. Identification and analysis of risk, development of risk reduction planning, and implementation of risk reduction planning are key steps of the process. The realization of the risk management targeted within the framework of the Capability Maturity Model Integration (CMMI), standard allows this architecture to be used by project managers in structuring distributed team organizations. The Figure 1 represents the risk management process. Defining the risks and completing their analysis, which is the first process step in the proposed architecture structure, greatly helps the managers of the distributed team structuring. Thus, the management perspective has been shaped by architectural structuring within the framework of the proposed architecture, by making the probability calculation of the risks that have been defined and categorized, considering their possible effects and grading the priorities. In case the comprehensive knowledge or communication of the project manager for each different region is not sufficient, it is very important that each step that constitutes the architectural configuration is adopted by the team members within the distributed region.

Reflecting the risk assessments created within each distributed region from local estimates to the whole project is an important part of another step. In order to achieve this, it is necessary to reveal the differences of experience and perspective for each distributed region and to increase the negotiation and project meetings on the grading of the foreseen priorities. It is ensured that project managers are also distributed risk data, which are rated, to the whole organization, and it is ensured that the comparison of the risk management of sub-projects is learned between independent projects. This factor helps distributed team managers to increase measures and reduce risks within the framework of risk reduction planning. The risk reduction planning to be developed should be supported within the scope of the synthesized decision techniques list in the context of the question of how to implement the measures in each risk area in Table 1. Each distributed team member should have adopted new solution proposals with improved techniques to the questions of what kind of measures should be taken within the framework of risk reduction planning and how these measures will be implemented within the current scope. Finally, it will be concluded by deciding which practical approaches the risk reduction planning will be implemented in line with the goals of distributed team members. This completion process is achieved by the responsibilities of the distributed team members, resource allocation and the determination of milestones related to the key elements for implementation.

3.2. Process Steps of Distributed Team Buildings

Distributed team organization structuring of the risk management process is handled in 3 fundamental steps. Identification and analysis of risk, development of risk reduction planning, and implementation of risk reduction planning are key steps of the process.

3.2.1. Risk Identification and Analysis

A software risk refers to a feature of a development task, environment, or process, which causes the possibility of project failure to increase in case of being ignored [15]. Risk identification and analysis within distributed team organizations is within a certain level of difficulty. Sharing the risks to distributed regions and team members according to their types and meanings brings problems that are not easy to solve. In Table-1, 8 different risk areas categorized according to risk areas and specific risk factors characterized for distributed team organization structures are defined.

Risk factors are characterized by low, medium and high level indicators. First of all, team members in each local area will use the defined and analyzed risk table in Table-1. Afterwards, the risk managers will discuss the results of the local assessment of risks for each region and combine the risk assessments and priorities of the entire project in the project meetings to be held in the whole project. Risk management team employees have identified each risk factor in Table-1 with two different probability values. The first of these evaluated the unmet probability of the expected as P (UO) and the second as the loss L (UO) affected by this probability. Each determined value can be graded with a scaler value in the range of 0-8 and categorized as low in the range of 0-2, medium in the range of 3-5 and high in the range of 6-8. Quality indicators are expected to be consistent with probability values in Table-1. Afterwards, the severity of risk exposure (RE) is calculated for each risk factor through web-based tools.

$$RE = P(UO) * L(UO) \quad (1)$$

3.2.2. Development of Risk Mitigation Planning

Risk analysis, risk identification, control, and mitigation represent the primary activities of risk management [10]. One of the main success factors of risk reduction planning is the importance given to defining high priority risk areas. In this way, comprehensive risk prevention planning under an effective risk management is supported. It has been developed within the framework of risk prevention planning of 8 different risk areas, categorized according to their fields within the framework of synthesized decision techniques. There are some inconsistencies between the defined techniques assigned to some existing situations within the developed plan. For example, while the methods between local regions are recommended to be standard and educational, on the other hand, the necessity to support the differences in methods between local regions is proposed as a separate technique. Unfortunately, this inconsistency has emerged as a more dangerous risk factor. For this reason, instead of creating plans within the framework of general synthesized decision techniques, it is suggested that process users should improve the decision techniques used within the company or

create new decision techniques. Team-workers are expected to develop risk reduction planning and then reflect overall project risk assessments throughout the project in negotiations or project meetings. Risk management is showed in Figure 2.

3.2.3. Development of Risk Mitigation Planning In risk management, it is very important to reach a level that can be managed within the scope of the implementation plan. In other words, for the implementation of the risk reduction plan specific to each rated risk area, the plan must be kept under control with the activities to be defined under each risk area. Figure 2, represents the basic risk management process.

Structuring the risk reduction plan includes 5 basic elements It is set within a certain framework with its comprehensive follow-up:

The first of these is the purpose, in other words, the reasons for defining risk assessments, the second is when, how and at which event milestones and deliveries will be taken into account by the team, and the third is the responsibilities, among which distributed regional team employees the activities will be shared, and distributed team members, from which environment to where they will transfer activities. Fourth, Method, how to apply synthesized techniques defined for each risk area, fifth, resources, it is stated that how much resource transfer or allocation will be made to which risk area within the scope of budget estimation. The risk reduction plan to be applied for each local area should be combined by the project manager and the whole project should be integrated on the basis of the risk management plan.

Distributed teams need to decide how often they will use the risk management process and make sure that each activity creates its own documentation and sub-component activities within the scope of this process.

4. Results and Discussion

4.1. Implementing Empirical Study

Distributed In this paper, we observe the effects of risk process management on the distributed software project, which includes foreign-language data of foreign countries, where there are branches in many parts of the country, is implemented on the basis of the Information Technology (IT) department. Since banking is a risk taking and management business within its core functions, the risks arising from banking activities should be properly understood, measured and managed well. Although digitizing the risk is very important, integrating the risks on the basis of distributed groups and determining the risk-taking tendency and risk-taking capacity as a whole necessitates the planning of a difficult process management. This requirement factor reveals the necessity for the risk reduction planning to be developed by the IT platforms of banks to comply with other bank standards and to develop effective strategies in all branches.

Figure 1: Risk Management Process [16].

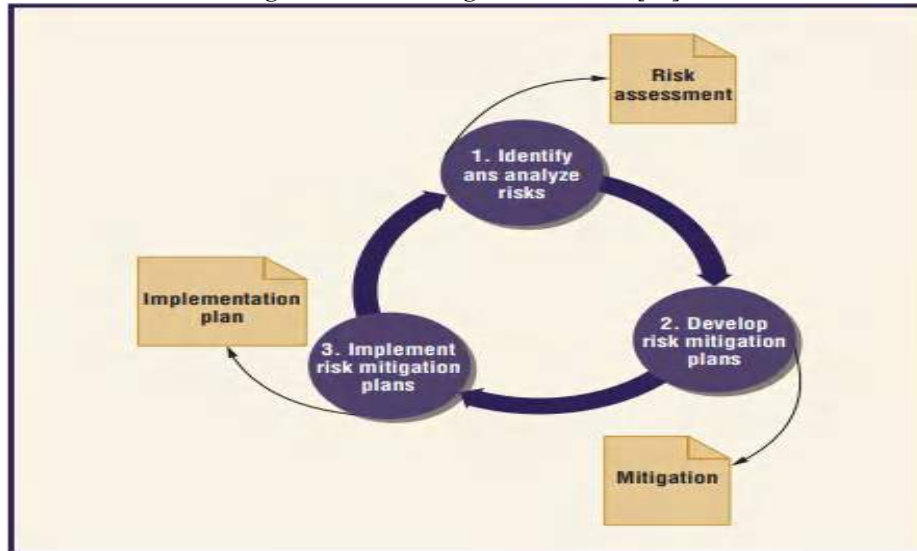


Table 1. Identification and analysis of risks in distributed team structures [16].

Risk Areas	Risk factor and related question		
	Low Risk	Medium Risk	High Risk
job distribution	Capacity	To overcome the difficulties	serious capacity gap
Knowledge Management	All agency	some units	serious (emergency) units
Geographical Distribution	limited distance	determined distance	Overrun distance
Team Organizational Structure	Required Cooperation	majority cooperation	General disconnection
Cultural distribution	Little cultural difference	To overcome the difficulties	cultural difference is high
stakeholder relations	high relationship	cultural difference is medium	low relationship
Communication infrastructure	General support	middle affair	a few supports
Technological infrastructure	Safe infrastructure	certain support	low infrastructure

The bank's standard-level IT platform consists of many sub-project components. This includes the information that the project, where the risk management process planning will be implemented, will be completed at the end of a 1-year project period within the scope of the integrated project with 20 separate sub-projects and more than 500 team members. Project team employees provide services within the IT structure of the bank in 4 different distributed regions. As it requires more IT experts due to the breadth of the integrated project, it also needs outsourcing from foreign branches that cover other different languages. The organizational structure of the IT structure of the bank shows that 7 out of 20 different sub-projects are distributed to 3 different organizational structures, 11 are within the IT body, and 2 are structured as outsourcing providers.

The IT department management of the bank attaches great importance to the problems faced by the software development team in distributed regions. Each manager involved in project integration starts the process at the requirement analysis phase. Each sub-project manager completes the local risk assessments for project negotiation within their own distributed region, as in Table-I.

At this point, project integration managers decide to repeat the risk management process in the frequency range during the project life cycle. Some sub projects are unable to organize face-to-face meetings. For this reason, meetings can be held by teleconferencing or by sharing the results on the computer via web-based tools.

They support the meeting with the opinions of those who do not participate in the risk assessed by providing an open, sincere In order to increase motivation at the meeting, a project manager expects the volunteers to explain the assessed risk tools by showing the details of their risk assessment. and reliable communication environment and those who have previous experience about this risk assessment. Distributed team managers can be enabled to close the gap between the cultural difference between distributed teams with a similar initiative. In each distributed zone risk assessment, the project integrator manager is invited to meet with all local area managers.

A similar procedure is applied to each sub-project negotiation. In the first meeting held during the requirement analysis phase, each project manager is required to define the

distribution of the cultural differences of the distributed team units under the risk area of each sub project. Thus, the grading of risk areas according to their importance is realized more clearly. Project managers evaluate the activity distributions according to the risk areas defined as high level of importance.

While the frequency of activity distribution and cultural distribution throughout the project life cycle is included in the high-rated risk area, the communication infrastructure and geographic distribution frequency are included in the low-rated risk area.

Figure 2: Risk Management [10].

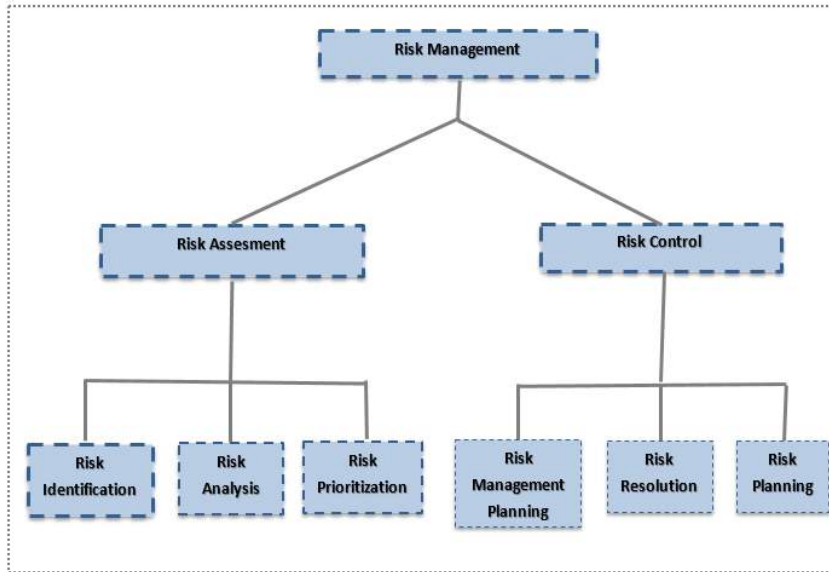
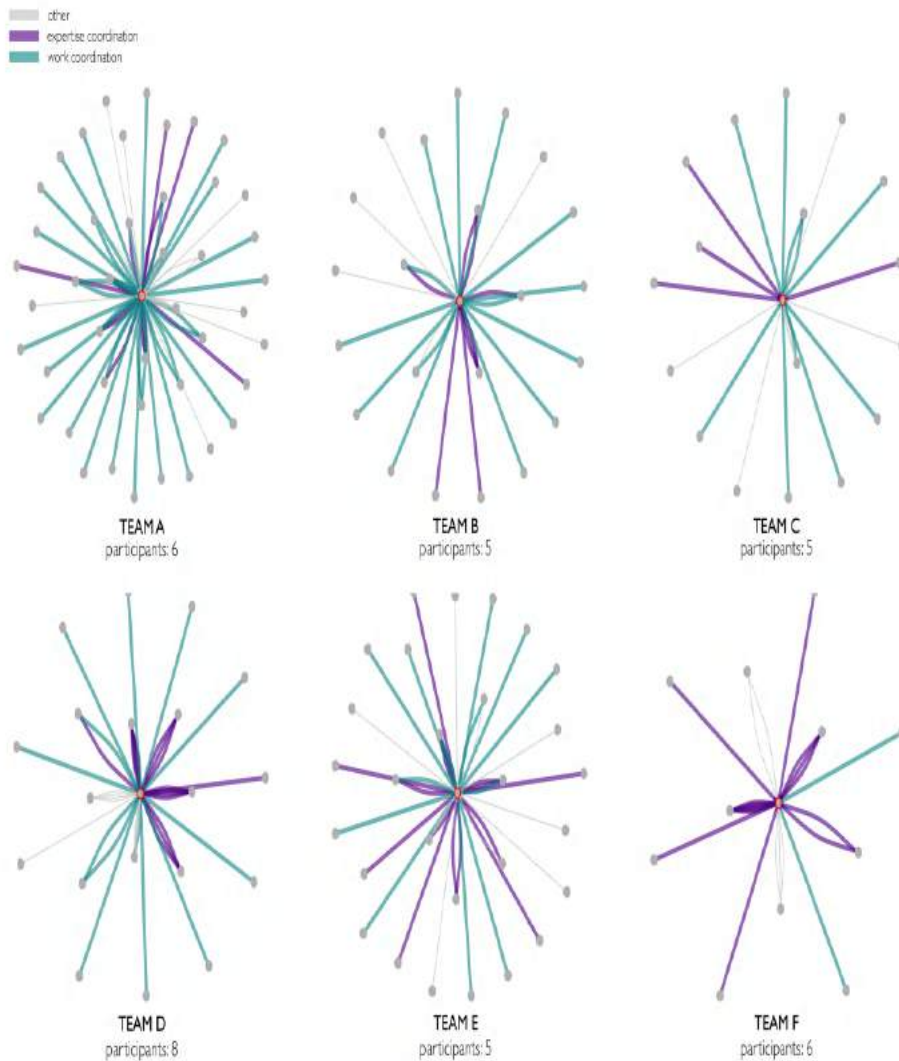


Figure 3: Team-external coordination patterns [2].



Within the scope of the integrated project, at the end of the risk assessment meetings, the details of 5 important items are written by the risk management team members. For example, management of cultural differences within the local area, implementation of risk management process planning by team members in local regions, etc. How to realize the function of the integration of distributed team organizations is one of the main goals for team culture structuring. The distributions of cultural differences between the risk groups and the relations between the milestones are evaluated within the scope of special dates scheduled in the negotiations. Within the scope of each meeting, the team members who are responsible for the creation of the cultural infrastructure make the necessary notes and in addition to this approach, the team members can also take the necessary notes within the scope of their interests. At the end of the negotiation, the negotiation participants are expected to submit their estimation evaluations about each local team twice a month. After two months, risk management team members reassess the cultural distribution risk group. Within the scope of the assessment, it is observed whether there is a decrease from high risk level to medium risk level. In this way, the necessary initiatives to reduce misunderstandings based on cultural differences are facilitated by increasing the cooperation between team members. Figure 3 shows as an example of individual team-external coordination patterns.

5. Conclusions and Recommendations

Global competition caused an increase in the need for flexibility, and access to global resources and significant financial gains lead businesses to take part in software projects that are geographically distributed [15]. The instructions that should be followed carefully within the scope of the distributed team risk management process should be arranged in accordance with the project team structure and providing options. Distributed team risk management requires the ability to deal with many challenges. For this reason, it is necessary to be able to establish a risk management structure suitable for the organization or project structure and at the same time to see the elimination of risk factors by team employees as an important value on the risk management process as much as planning and entrepreneurship. Distributed team structuring can vary in size and complexity. In some cases, only a few team members from each local area are needed, in other cases all the team members of each local area are needed. Therefore, ensuring secure and transparent communication regardless of the number of team members and the complexity of the risk management process is a vital requirement for the risk management process. Risk management can be organized differently according to various options on the basis of process structuring. In this context, many options may sometimes not be compatible with the process architecture. For example, more synthesized techniques may need to be used within the framework of the risk reduction plan. Project management is not limited to structuring and managing risk process management within the scope of a distributed team. Risk management is just one of many key disciplines of project management. A general project management consists of combining many processes within itself. Using a suitable software system can be a serious support in process and plan integration. To be able to carry out an effective distributed team management in the implementation phase of the risk management process requires having skills at a certain standard level. Having complementary capacities to adapt

to changes in the face of many possibilities such as continuing progress throughout the project life cycle, being included in a new local area, will reduce the risks of distributed teams and this success will be reflected in the project management process to the same extent.

In this paper, it is aimed to present the risk management process recommendations for the management of the risk assessments of the managers in a comprehensive way throughout the risk management process in a systematic manner, especially the control of the risks encountered in the distributed team organization structure, in line with the directives. This paper, within the scope of the literature review and software development examples developed within the scope of the distributed team structure, it is presented for your information in the hope that the managers will avoid possible mistakes and manage many successful project processes.

6. Acknowledge

This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

References

- [1] Oehmen J., Guenther A., Herrmann J., Schulte J., and Willumsen P., (2020) Risk Management in Product Development: Risk Identification, Assessment, and Mitigation – A Literature Review, Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, vol. 1, pp. 657–666. doi:10.1017/dsd.2020.27.
- [2] Sablis A., Smite D., Moe N.B., (2021). Team-external coordination in large-scale software development projects, Journal of Software Maintenance, 33(3), <https://doi.org/10.1002/smr.2297>.
- [3] Dingsøyr T., Rolland K., Moe N. B., (2017). Coordination in multi-team programmes. An investigation of the group mode in large-scale agile software development, Procedia Comput Sci. 2017;121:123-128.
- [4] (2009). IEC/ISO 31010 Risk management - Risk assessment techniques, International Organization for Standardization, Geneva. Google Scholar.
- [5] (2018). ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines, International Organization for Standardization, Geneva, Google Scholar.
- [6] Aslam W., and Ijaz F., (2018). A Quantitative Framework for Task Allocation in Distributed Agile Software Development, in IEEE Access, vol. 6, pp. 15380-15390, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2803685.
- [7] Kahya M.D. and Seneler Ç., (2018). Geographical Distance Challenges in Distributed Agile Software Development: Case Study of a Global Company, 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), doi: 10.1109/UBMK.2018.8566591.
- [8] Iftikhar A., Musa S., Alam M., M. M. and Ali S. M. Su'ud, (2018). A survey of soft computing applications in global software development, IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), pp. 1-4, doi: 10.1109/ICIRD.2018.8376330.
- [9] Cavrak I. and Bosnic I., (2018). Team Resilience in Distributed Student Projects, IEEE/ACM 13th International

- Conference on Global Software Engineering (ICGSE), pp. 107-115, 2018.
- [10] Hammad M., and Inayat I., (2018). Integrating Risk Management in Scrum Framework, International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), pp. 158-163, doi: 10.1109/FIT.2018.00035.
- [11] Behnke R. P. et al., (2019). Lowering Electricity Access Barriers by Means of Participative Processes Applied to Microgrid Solutions: The Chilean Case, in Proceedings of the IEEE, vol. 107, no. 9, pp. 1857-1871, Sept., doi: 10.1109/JPROC.2019.2922342.
- [12] Filho R. N., et al., (2019). Collaboration Tool for Distributed Open Source Verification. ACM/IEEE 14th International Conference on Global Software Engineering (ICGSE), 139-142. Doi: 10.1109/ICGSE.2019.00034.
- [13] Singi K., Kaulgud V., Bose R. P. J. C., and Podder S., (2019). CAG: Compliance Adherence and Governance in Software Delivery Using Blockchain, IEEE/ACM 2nd International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB), pp. 32-39, doi: 10.1109/WETSEB.2019.00011.
- [14] Mirsaeedi E. and Rigby P. C., (2020). Mitigating Turnover with Code Review Recommendation: Balancing Expertise, Workload, and Knowledge Distribution, IEEE/ACM 42nd International Conference on Software Engineering (ICSE), pp. 1183-1195, doi: 10.1145/3377811.3380335.
- [15] Persson J. S., Mathiassen L., Boeg L., Madsen J., T. S., and Steinson F., (2009). Managing Risks in Distributed Software Projects: An Integrative Framework, in IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 56, no. 3, pp. 508-532, Aug, doi: 10.1109/TEM.2009.2013827.
- [16] Persson J., and Mathiassen L., (2010). A Process for Managing Risks in Distributed Teams, in IEEE Software, vol. 27, no. 1, pp. 20-29, Jan.-Feb, Doi: 10.1109/MS.2009.157.
- [17] Aslam A., et al., (2017). Decision support system for risk assessment and management strategies in distributed software development, IEEE Access, vol. 5, pp. 20349–20373.



Comparison of Performance of Phishing Web Sites with Different DeepLearning4J Models

Özlem Batur Dinler^{1*}, Canan Batur Şahin², Laith Abualigah³

^{1*} Siirt University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Siirt, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2955-6761), o.b.dinler@siirt.edu.tr

² Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2131-6368), canan.batur@ozal.edu.tr

³ Amman Arab University, Faculty of Computer Sciences and Informatics, Department of Computer Engineering, Amman, Jordan, (ORCID: 0000-0002-2203-4549), aligah.2020@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS)- 1-3 November 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004778)

ATIF/REFERENCE: Batur Dinler, Ö., Batur Şahin, C. & Abualigah, L. (2021). Analysis of Phishing Web Sites by Using WEKA DL4J Techniques. *European Journal of Science and Technology*, (28), 425-431.

Abstract

Due to the new type of coronavirus (COVID-19) disease, which was first seen in Wuhan, China in 2019, a pandemic was declared by the World Health Organization (WHO) on March 11, 2020. The pandemic, which is still in effect throughout the world, has changed the daily life activities and habits of the whole world community in a short time and shifted them towards digital media applications. Accordingly, increasing cyber-attack attacks and data breaches have created great risk for the pandemic society. In this context, the security of digital media applications has become a much more important issue with the COVID-19 outbreak. The issue has been observed especially on phishing websites. Web phishing is the practice of stealing personal information such as name, last name, password, and credit card numbers of individuals by imitating a reputable business. It will result in the exposure of information and the financial damage. The focus of the study is based on several DeepLearning4j (DL4j) models used to identify phishing websites. However, the main purpose of the study is to efficiently monitor the effectiveness of DeepLearning4J (DL4J) models with the aim of improving the performance of evaluation metrics.

Keywords: COVID-19, DL4J, Cyber attack, Web, Phishing.

Kimlik Hırsız Web Sitelerinin Farklı DeepLearning4J Modelleri ile Performanslarının Karşılaştırılması

Öz

İlk olarak 2019'da Çin'in Wuhan şehrinde görülen yeni tip koronavirus (COVID-19) hastalığı nedeniyle 11 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından pandemi ilan edilmiştir. Dünya genelinde hâlâ etkisi devam etmekte olan bu salgın, kısa sürede tüm dünya toplumunun gündelik yaşam aktivitelerini ve alışkanlıklarını hızlı bir şekilde değiştirerek digital ortam uygulamalarına doğru kaydirmiştir. Bu doğrultuda, artan siber saldırı atakları ve yaşanan veri ihlalleri salgın toplumu için büyük bir risk oluşturmuştur. Bu bağlamda, dijital ortam uygulamalarının güvenliği COVID-19 salgını ile çok daha önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu sorun özellikle kimlik hırsız web siteleri üzerinde gözlenmiştir. Web kimlik hırsızlığı, güvenilir kurumları taklit ederek kişilerin ad, soyad, şifre ve kredi kartı numaraları gibi kişisel bilgileri çalma yöntemidir. Bu, bilginin ifşa olmasına ve mali zarara neden olacaktır. Çalışmanın odağı, kimlik hırsız web sitelerinin tanımlanması amacı ile kullanılan birkaç DeepLearning4j (DL4j) modeline dayanmaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın temel amacı, değerlendirme metriklerinin performanslarını iyileştirmek amacı ile DeepLearning4J (DL4J) modellerinin etkinliğini verimli bir şekilde izlemektir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, DL4J, Siber Saldırı, Web, Kimlik Hırsızlığı.

* Corresponding Author: o.b.dinler@siirt.edu.tr

1. Introduction

Nowadays, the ongoing pandemic process continues to affect the whole world with the mutation of the new type of coronavirus in various parts of the world. The fact that the mutated virus is much more contagious than the old virus has made it mandatory for governments to renew comprehensive quarantine practices and stay home calls. Therefore, the change in the outbreak has adversely affected the course of the pandemic and led to the prolongation of the normalization process. Thus, this process has made the standard way of living and doing business of the pandemic society more dependent on the digital environment [1-2]. This has brought about many advantages, such as avoiding physical contact, reducing and controlling mass mobility to prevent the spread of the mutated virus, and also privacy and data security problems. These problems have led to a significant increase in the number of web phishing online cyberattacks, especially targeting internet fraud and web security. According to a report prepared by Google, 2,145,013 phishing sites have been registered by Google since Jan 17, 2021. The number of phishing sites has increased from 1,690,000 on Jan 19, 2020 [3]. In this context, cybercriminals have taken advantage of the COVID-19 pandemic and intensified web phishing attacks.

It is possible to define web phishing as the development of fake websites and the replication of trusted websites for the purpose of deceiving online users as a result of obtaining access to their login information in an illegal way to steal their financial assets. Humans represent the weakest link in a protection program. It causes financial losses for industries and individuals [4]. Therefore, the detection of identity theft websites is extremely important in terms of warning users before any identity theft occurs and preventing the damage it may cause.

The success of deep neural networks has been proven in different scientific domains [5]. Moreover, recent research has demonstrated the possibility of the successful use of neural networks in a number of tasks in phishing websites [6-11]. However, to the author's knowledge, [1] the WEKA DL4J algorithm was employed for the first time for the detection of phishing websites, and the results showed that the accuracy rate was 90.03%. The current paper also represents the first comprehensive study that analyzed phishing websites by utilizing the WEKA DL4J method. Thus, this study extends the previous research [1] conducted on deep learning approaches to predict phishing websites by employing the deep learning implementation algorithms DL4J, as implemented in Weka. In comparison with the previous study [1], the current approach involves the innovations indicated below: i) the design of DL4J

models predicting phishing websites, ii) the comparison of the performance and predictive accuracy of deep learning models to predict phishing websites.

This study compared the performance of DL4J methods according to five different performance metric using the accuracy, precision, recall, F-measure, and computational times (CT, in seconds (s)) criteria. Furthermore, in addition to the experiments traditionally performed using training and test data, experiments related to cross-validation performance are also performed.

The remaining part of the study is organized in the following way. The materials and methods are described in Part 2, while more details of experiments and the findings of the classification process are presented in Part 3. In the end, Part 4 include conclusions.

2. Material and Method

Here, a detailed description of the data sets, tools, and classification process employed in our experiments is presented.

2.1. Dataset

The dataset from [12] was utilized in our tests. SFH, Pop Up Window, Final state of SSL, URL Request, Anchor URL, Web traffic, Length of URL, Domain age, Having IP Address, and Result represent the most suitable attributes to detect phishing websites. There are 1353 instances in the dataset. In the dataset, 9 attributes and class information for each sample contain a categorical value of -1 for identity thieves, 1 for non-identity thieves, and 0 for suspicious ones.

2.2. Deep Learning4J Using WEKA

A neural network generally represents a technology that is built with the aim of simulating particularly the human brain's activity, pattern recognition, and the passage of input via different layers of simulated neural connections. Deep neural networks are defined by various experts as networks with an input layer, an output layer, and a minimum of one hidden layer between them. Every layer conducts certain types of sorting and ordering in a process, called "feature hierarchy." Moreover, the phrase "deep learning" is utilized with the aim of describing the mentioned deep neural networks since deep learning is a particular form of machine learning in which technologies utilizing aspects of artificial intelligence seek to classify and order information in ways going beyond simple input/output protocols [13-14]. As demonstrated in Figure 1, a lot of deep learning open source tools can be utilized to classify phishing websites. The current study will focus on Weka Deep Learning4j [15]. Weka Deep learning4j uses a simple approach towards deep learning by means of a WEKA [16] package, called DL4JMLP Classifier, which ensures stacking various forms of neural layers.

The structure of the DL4J models is described in Table 1. We utilized models with the LSTM layer, GravesLSTM layer, Dense layer, and Output layer, The structure of the DL4J models is described in Table 1. We utilized models with the LSTM layer, GravesLSTM layer, Dense layer, and Output layer.

Figure 1: DL open source tool[17].

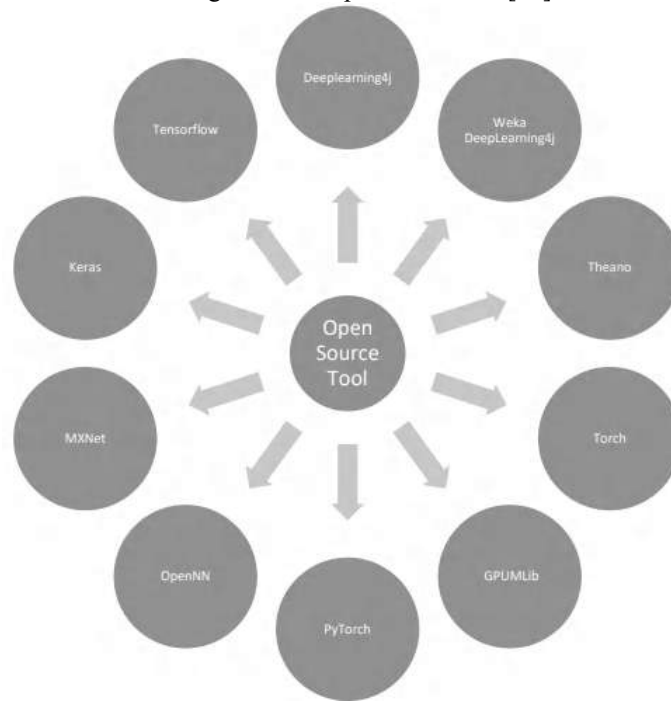


Table 1. Details of DL4J models for the experiments.

Types of Layer	Layer Details	Number of Layers
LSTM 2- Layer	LSTM Layer Output Layer	2
GravesLSTM 2-Layer	GravesLSTM Layer Output Layer	
Dense 2- Layer	Dense Layer Output Layer	
LSTM 3-Layer	LSTM Layer LSTM Layer Output Layer	3
GravesLSTM 3-Layer	GravesLSTM Layer GravesLSTM Layer Output Layer	
Dense 3-Layer	Dense Layer Dense Layer Output Layer	
LSTM & Dense 3-Layer	LSTM Layer Dense Layer Output Layer	
Dense & LSTM 3-Layer	Dense Layer LSTM Layer Output Layer	
LSTM & GravesLSTM 3-Layer	LSTM Layer GravesLSTM Layer Output Layer	
GravesLSTM & LSTM 3-Layer	GravesLSTM Layer LSTM Layer Output Layer	
GravesLSTM & Dense 3-Layer	GravesLSTM Layer Dense Layer Output Layer	
Dense & GravesLSTM 3-Layer	Dense Layer GravesLSTM Layer Output Layer	

2.3. Evaluation Metrics

The present research examined various validation options (Percentage Split and k-fold Cross-Validation) by carrying out experiments with regard to cross-validation performance as well as the experiments traditionally carried out using training and test data. The detailed information on the dataset properties of the experiments used in this study is shown in Table 2.

Table 2. The details dataset used for experiments.

	Training Set	Testing Set
Experiment 1	%66	%33
Experiment 2	%70	%30
Experiment 3	%80	%20
Experiment 4	10-fold cross-validation	

The aim of detecting phishing websites is to determine phishing instances from the test dataset containing phishing websites and legal websites, which basically represents a binary classification essence. Four kinds of classification are employed in binary classification for the purpose of measuring the accuracy of the classification confusion matrix.

Table 3. The details dataset used for experiments.

	Classified Phishing	Classified Legitimate
Actual Phishing	TP	FN
Actual Legitimate	FP	TN

Table 3 presents the confusion matrix related to the study, where:

- True Positive (TP) refers to the number of correctly detected phishing websites.
- False Negative (FN) refers to the number of phishing websites detected as legitimate websites.
- False Positive (FP) refers to the number of legitimate websites detected as phishing websites.

- True Negative (TN) refers to the number of legitimate websites detected as legitimate websites.

With the aim of assessing the performance of the experiments, measures including Accuracy, Precision, Recall, F-measure, and computational times (CT), were utilized.

Accuracy is the criterion that gives the ratio of correctly classified inputs to total inputs. It is described in Equation (1):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

Precision is the ratio of correctly classified positive inputs to total positive values. It is described in Equation (2).

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

Recall is the ratio of correctly classified positive inputs to actual positive values. It is described in Equation (3).

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

The F-Measure refers to a weighted harmonic average of the precision rate and the recall rate. It is described in Equation (4).

$$F - Measure = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (4)$$

3. Results and Discussion

The present research implements four experiments on the basis of twelve various scenarios. The experiments and their results

were assessed by utilizing five metrics, the performance of the said experiments was compared, and the findings are presented in Tables 4-7.

Table 4. Comparison metrics of models for Experiment 1.

Types of Layer	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	CT (s)	Node
LSTM 2	89.78%	0.898	0.898	0.898	166.37	20
GravesLSTM 2	89.56%	0.896	0.896	0.896	193.96	20
Dense 2	90.21%	0.901	0.902	0.901	64.25	50
LSTM 3	90.43%	0.907	0.904	0.905	246.53	10
GravesLSTM 3	88.91%	0.891	0.889	0.890	364.24	30
Dense 3	88.69%	0.886	0.887	0.886	91.46	30
LSTM & Dense 3	88.47%	0.884	0.885	0.884	169.84	10
Dense & LSTM 3	90.21%	0.902	0.902	0.902	186.47	30
LSTM & GravesLSTM 3	91.08%	0.913	0.911	0.911	297.28	20
GravesLSTM & LSTM 3	89.56%	0.894	0.896	0.895	287.23	10
GravesLSTM & Dense 3	90.00%	0.901	0.900	0.900	211.08	20
Dense & GravesLSTM 3	89.56%	0.895	0.896	0.895	221.23	30

Table 5. Comparison metrics of models for Experiment 2.

Types of Layer	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	CT (s)	Node
LSTM 2	89.40%	0.895	0.894	0.894	179.54	50
GravesLSTM 2	89.65%	0.897	0.897	0.897	203.27	20
Dense 2	90.14%	0.901	0.901	0.901	64.69	30
LSTM 3	90.14%	0.901	0.901	0.901	283.51	40
GravesLSTM 3	89.90%	0.900	0.899	0.899	341.81	20
Dense 3	88.91%	0.890	0.889	0.889	95.63	50
LSTM & Dense 3	88.91%	0.891	0.889	0.890	178.88	20
Dense & LSTM 3	90.39%	0.905	0.904	0.904	192.93	50
LSTM & GravesLSTM 3	89.90%	0.900	0.899	0.899	324.04	30
GravesLSTM & LSTM 3	90.14%	0.902	0.901	0.902	322.2	30
GravesLSTM & Dense 3	89.65%	0.897	0.897	0.897	221.47	20
Dense & GravesLSTM 3	89.40%	0.895	0.894	0.894	239.06	50

Table 6. Comparison metrics of models for Experiment 3.

Types of Layer	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	CT (s)	Node
LSTM 2	89.29%	0.893	0.893	0.893	167.23	50
GravesLSTM 2	90.40%	0.905	0.904	0.904	193.09	20
Dense 2	90.77%	0.909	0.908	0.908	59.22	10
LSTM 3	89.66%	0.899	0.897	0.897	253.53	10
GravesLSTM 3	90.77%	0.911	0.908	0.908	370.73	50
Dense 3	89.29%	0.895	0.893	0.894	90.67	20
LSTM & Dense 3	90.40%	0.904	0.904	0.904	170.21	10
Dense & LSTM 3	89.29%	0.895	0.893	0.894	193.89	40
LSTM & GravesLSTM 3	90.03%	0.903	0.900	0.901	287.85	20
GravesLSTM & LSTM 3	90.03%	0.901	0.900	0.901	287.91	20
GravesLSTM & Dense 3	90.77%	0.910	0.908	0.908	221.16	30
Dense & GravesLSTM 3	89.29%	0.893	0.893	0.893	216.37	10

Table 7. Comparison metrics of models for Experiment 4.

Type of Layer	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	CT (s)	Node
LSTM 2	90.24%	0.903	0.902	0.903	171.94	20
GravesLSTM 2	90.61%	0.907	0.906	0.906	210.59	20
Dense 2	90.53%	0.906	0.905	0.906	58.69	50
LSTM 3	90.17%	0.904	0.902	0.902	298.65	40
GravesLSTM 3	90.46%	0.906	0.905	0.905	392.97	20
Dense 3	89.94%	0.899	0.899	0.899	80.11	30
LSTM & Dense 3	90.24%	0.904	0.902	0.903	176.78	20
Dense & LSTM 3	84.94%	0.900	0.899	0.900	187.51	20
LSTM & GravesLSTM 3	90.24%	0.904	0.902	0.903	307.58	20
GravesLSTM & LSTM 3	90.46%	0.905	0.905	0.905	290.23	20
GravesLSTM & Dense 3	90.02%	0.901	0.900	0.900	219.96	20
Dense & GravesLSTM 3	90.31%	0.904	0.903	0.903	219.02	20

Experiment 1- As seen in Table 4, LSTM & GravesLSTM having 3 layers yielded the highest accuracy, precision, recall, and F-measure in comparison with DL4J models having other layers. DL4J hybrid model having 20 nodes and 297.28 computational times was the model with the best prediction rate among all the twelve various types of layers.

Experiment 2- From Table 5, it is observed that Dense & LSTM having 3 layers, 50 nodes, and 192.93 computational times yielded the highest accuracy, precision, recall, and F-measure.

Experiment 3- According to Table 6, it is observed that Dense having 2 layers, GravesLSTM having 3 layers, and GravesLSTM & Dense having 3 layers obtained the highest accuracy, precision, recall, and F-measure. These models achieved the prediction rate of 96.72% by utilizing 10, 50, and 30 nodes and 59.22, 370.73, and 221.16 computational times, respectively.

Experiment 4- In line with the findings shown in Table 7, the highest accuracy, precision, recall, and F-measure were achieved

by utilizing GravesLSTM having 2 layers and 20 nodes for all types of layers. However, the computational time was 210.59.

As seen in Table 8, the present research yielded higher accuracy and took a shorter time in comparison with the previous research [1]. We utilized a computer having an Intel Core i7-4770

3.40 GHz processor and 16 Gb of RAM to conduct experiments. Accordingly, the following can be indicated in the current research: computational complexity of Experiment 3 < computational complexity of Experiment 2 < computational complexity of Experiment 4 < computational complexity of Experiment 1.

Table 8. Comparison metrics of DL4J models for this and previous study [1] experiments.

	Experiments	Types of Layer	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	CT (s)
This Study	Experiment 1	LSTM & GravesLSTM 3	91.08%	0.913	0.911	0.911	297.28
	Experiment 2	Dense & LSTM 3	90.39%	0.905	0.904	0.904	192.93
	Experiment 3	Dense 2	90.77%	0.909	0.908	0.908	59.22
	Experiment 4	GravesLSTM 2	90.61%	0.907	0.906	0.906	210.59
Previous Study[1]	Experiment 1	LSTM 2	88.69%	0.887	0.887	0.887	495.22
	Experiment 2		87.93%	0.882	0.879	0.880	474.91
	Experiment 3		90.03%	0.902	0.900	0.901	482.53
	Experiment 4		88.39%	0.885	0.884	0.884	486.23

Figures 2 and 3 demonstrate the accuracy results and computational times acquired in the present and previous research [1] on the basis of DL4J models for various experiments.

In this study the findings show that the highest performance was obtained in Experiment 1 and for better computational time Experiment 3.

Figure 2: Comparison accuracy of the present study with a previous study[1].

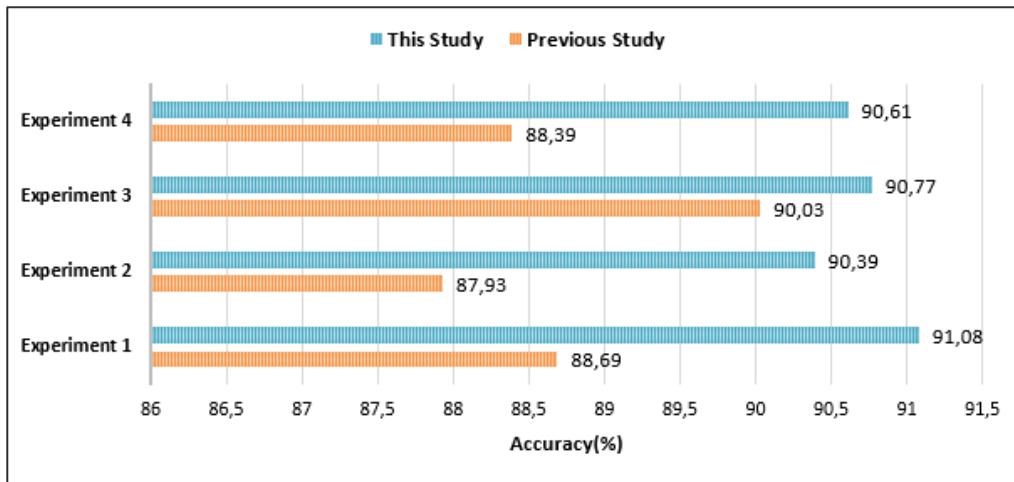
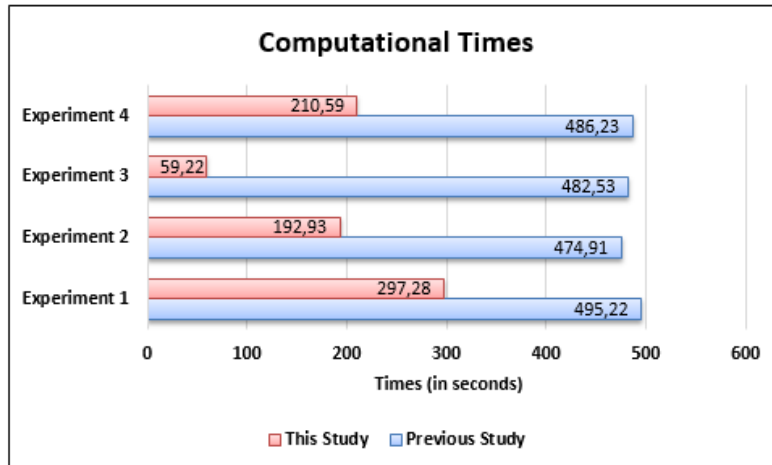


Figure 3: Comparison computational times of the present study with a previous study[1].



4. Conclusions and Recommendations

The present study has demonstrated that deep learning can be used for the purpose of predicting web phishing by utilizing well-known algorithms, such as WEKA DL4J neural networks. We employed DL4J models for which we combined two and three types of layers with the aim of establishing models and assessed every model. The current study is original since it implemented the WEKA DL4J approach for the prediction of web phishing.

5. Acknowledge

This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

References

- [1] Batur Dinler., Ö, Batur Şahin., C. (2021). Prediction of Phishing Web Sites with Deep Learning Using WEKA Environment. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı, 2021 (ARACONF)*, 35-42.
- [2] Ullah., A, Batur Dinler., Ö, and Batur Şahin., C. (2021). The Effect of Technology and Service on Learning Systems During the COVID-19 Pandemic. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2021 (ICAENS)*, 28,106-114, 28.
- [3] Graphus Kaseya Company, <https://www.graphus.ai/blog/10-facts-about-phishing-in-2021-that-you-need-to-see/>
- [4] Yang., S.(2020). Research on web site phishing detection based on LSTM RNN. 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC 2020), 284-288.DOI: [10.1109 / ITNEC48623.2020.9084799](https://doi.org/10.1109/ITNEC48623.2020.9084799).
- [5] Batur Şahin., C, Batur Dinler., Ö, Abualigah., L. (2021). Prediction of software vulnerability based deep symbiotic genetic algorithms: Phenotyping of dominant-features. *Applied Intelligence*, <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02324-3>.
- [6] Adebowale., M.A, Lwin., K.T, and Hossain., M.A. (2020). Intelligent phishing detection scheme using deep learning algorithms. *Journal of Enterprise Information Management* ©Emerald Publishing Limited .1741-0398. DOI:10.1108/JEIM-01-2020-0036.
- [7] Khan., M.F, Rana, B.L. (2021). Detection of Phishing Websites Using Deep Learning Techniques. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. Vol.12 No.10, 3880- 3892.
- [8] Barstugan, M., Ozkaya, U., & Ozturk, S. (2020). Coronavirus (COVID-19) classification using ct images by machine learning methods. *arXiv preprint arXiv:2003.09424*.
- [9] Benavides, E., Fuertes, W., Sanchez, S., & Sanchez, M. (2020). Classification of phishing attack solutions by employing deep learning techniques: A systematic literature review. In *Developments and advances in defense and security* (pp. 51–64). Springer.
- [10] Maurya, S., & Jain, A. (2020). Deep learning to combat phishing. *Journal of Statistics and Management Systems*, pp. 1–13.
- [11] Shie, E. W. S. (2020). Critical analysis of current research aimed at improving detection of phishing attacks. *Selected computing research papers*, p. 45.
- [12] Abdelhamid et al., (2014). Phishing detection based associative classification data mining. *Expert System With Applications(ESWA)*,41, 5948-5959.
- [13] Batur Dinler, Ö.; Aydın N. An Optimal Feature Parameter Set Based on Gated Recurrent Unit Recurrent Neural Networks for Speech Segment Detection. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 1273. <https://doi.org/10.3390/app10041273>.
- [14] Şahin, C., and Dırı B. (2019), Robust Feature Selection with LSTM Recurrent Neural Networks for Artificial Immune Recognition System, *IEEE Access*, Vol.7, pp. 24165 – 24178.
- [15] Lang, S., Bravo-Marquez, F., Beckham, C., Hall, M., Frank, E. (2019), WekaDeeplearning4j: A Deep Learning Package for Weka based on DeepLearning4j, *Knowl.-Based Syst.*178, 48–50. [CrossRef]
- [16] Frank, E., Hall, M.A., Witten, I.H. (2016), *The Weka Workbench*, 4th ed.; Online Appendix for “Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques”, Morgan Kaufmann: Burlington, MA, USA.
- [17] Zainudin, Z., Shamsuddin, S. and Hasan, S. (2019). Deep Learning for image processing in WEKA environment. *Int. J. Advance Soft Compu. Appl*, Vol. 11, No. 1, March 2019, ISSN 2074-282.



Farklı Orana Sahip PET Atıklarının Çimento Harçlarının Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerine Etkisi

Arın Yılmaz^{1*}

^{1*} Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5150-5936), ayilmaz@balikesir.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004191)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, A. (2021). Farklı Orana Sahip PET Atıklarının Çimento Harçlarının Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerine Etkisi. Avrupa ve Bilim Teknoloji Dergisi, (28), 432-436.

Öz

Plastik atıklar artan nüfusla birlikte büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu tür atıkların depolanması ve yok edilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Birçok sektörde plastik atıkların geri dönüşümü ile tekrar kullanılabilir hale geldiğini biliyoruz. İnşaat sektöründe özellikle PET atıklarının hafif yapı malzemeleri üretiminde agrega olarak kullanıldığını görmekteyiz. Ayrıca malzemede oluşabilecek kılcal çatlakların önlenmesi içinde lif görevi gören PET atıklarının kullanılmaktadır. Bu çalışmada, pet atıkları içeren çimento harçlarının mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Pet atıkları öncelikli olarak boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Daha sonra aynı orandaki atık 3 farklı boyutta kesilerek sistem içine dahil edilmiştir. İki farklı durumda kullanımı arasındaki farklar ortaya çıkarılmıştır. Pet boyutlarının küçülmesiyle birlikte basınç dayanımına etkisi artmıştır. Eğilmede çekme dayanımı yüze y alanı geniş olan PET atıklarında daha yüksek elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pet atıkları, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, donma çözülme direnci.

Effect of PET Waste Having Different Ratio on Mechanical and Durability Properties of Cement Mortars

Abstract

Plastic waste is a big problem with the increasing population. Efforts are underway to store and dispose of such wastes. We know that in many sectors, plastic waste becomes reusable by recycling. In the construction sector, we see that PET wastes are used as aggregate in the production of light building materials. In addition, PET wastes, which act as fibers, are used to prevent capillary cracks that may occur in the material. In this study, the mechanical properties of cement mortars containing pet wastes were experimentally investigated. Pet wastes were primarily used as longitudinal reinforcement. Then, the same amount of waste was cut at 3 different rates and included in the system. The differences between its use in two different cases have been revealed. The effect on the compressive strength increased with the reduction of pet sizes. The flexural strength in bending was higher in PET wastes with a large surface area.

Keywords: PET waste, compressive strength, flexural strength, freezing-thawing resistance.

* Corresponding Author: ayilmaz@balikesir.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, atık plastikler gibi endüstriyel atıkların beton üretiminde agrega olarak kullanımına yönelik ilgi giderek artmaktadır. Bu malzemelerin kullanımı hem çevre kirliliğini azaltmakta hem de yetersiz agrega kaynaklarına sahip bölgeler için yeni kaynak teşkil etmektedir. Ayrıca bu tür atıkların beton üretiminde agrega olarak kullanımı maliyeti de düşürmektedir. Plastik atıkların hafif olması, kimyasal etkilere karşı dirençli olması, kolay elde edilmesi gibi etkenlerden dolayı beton üretiminde olduğu gibi birçok sektörde de kullanılmaktadır. Literatüre bakıldığında beton üretiminde plastiklerin kullanımı genellikle agrega yerine kullanılması şeklinde olmuştur (Benazzouk ve ark., 2003; Akçaözöglü ve ark., 2010).

Polietilen tereftalat genellikle PET olarak kısaltılan polyester ailesine ait termoplastik polimer reçinesi olarak bilinmektedir. Sıvı olarak tükettiğimiz plastik kapların hepsi bu malzmeden üretilmekte ve kısaca PET ismini almaktadır. PET atıklarının depolanması ve yok edilmesi Dünyada büyük sorunları beraberinde getirmektedir. PET atıklarının geri dönüşümü, bunların kompozit bir yapı malzemesinin bileşeni olarak kullanılmasıyla da mümkün olabilmektedir. Betonun çekme dayanımını iyileştirmek için fiber takviyesi olarak PET fiberleri kullanılmıştır (Kim ve ark., 2010). Bilindiği üzere beton, basınç yükü altında güçlü, çekme yükü altında ise zayıftır. Yapılan bir çalışmada, PET atıklarının rötre çatlaklarını kontrol etmede etkili rol oynadığı çekme dayanımını artırmadığı ifade edilmiştir (Kim ve ark., 2008). Naik ve ark., (1996) çalışmalarında basınç dayanımını artırmak için kimyasal olarak işlenmiş yüksek oranda PET atığını betonda dolgu maddesi olarak kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda betonun basınç dayanımının kimyasal işlem görmüş atıklardan olumlu olarak etkilendiğini belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada, Sivaraja ve ark., (2010) naylon, plastik ve lastik gibi atıkların beton dayanımı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deney sonuçları % 0.5-1 oranına sahip atıkların mekanik mukavemeti arttırdığını ortaya koymuştur. Diğer bir çalışma Rebeiz ve ark., (1996) Petten oluşan doymamış polyester reçine ile üretilen çelik takviyeli betonun eğilme davranışını araştırmıştır. Çalışmalarında, kirişlerin eğilme mukavemetinde artış olduğunu ifade etmişlerdir.

Plastik atıkları, bazı araştırmacılar tarafından hafif yapı elemanlarının üretiminde agrega olarak kullanılmıştır. Plastik atıkların mekanik olarak ayrılması ve işlenmesi ile üretilen plastik agrega, doğal agregalardan önemli ölçüde daha hafif malzemelerdir. Choi ve ark., (2005) tarafından yapılan bir başka çalışmada, PET atıklarının agrega olarak kullanılmasının betonun özelliklerine olan etkileri araştırılmış ve plastiğin betonun ağırlığını yaklaşık %2-6 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda normal betonun basınç dayanımı %33'e kadar azaldığını elde etmişlerdir. Batayneh M. ve ark., (2007) plastik atık içeren bir beton üzerinde bir dizi deneyler yapmıştır. Yaptıkları çalışmada yer değiştirme açısından basınç dayanımı dikkate alındığında, kontrol numunesinin basınç dayanımının %5 ve %20 oranında yer değiştirilmiş atıklara göre sırasıyla %23 ve %72 oranında azaldığını ifade etmişlerdir. Beton karışımında ince agrega yerine PET atığının %2 ile %100 ikame miktarı olarak kullanımını inceleyen bir çalışmada, PET agregaları ile yoğunluk ve basınç dayanımı arasında, pozitif bir

korelasyon elde edilmiştir. Parçalanmış PET parçacıklarının çimento harcında ince agrega olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Marzouk ve ark., 2007). Yukarıda ifade edilen çalışmalar sonucunda, öğütülmüş PET atıklarının lif etkisi göstererek düşük maliyetli bir malzeme sunma konusunda işlevsel hale gelmişlerdir. Ghaly ve Gills (2004) tarafından plastik atıkların iri agregalar yerine kullanımı ile yoğunluk, su-çimento oranı ve plastik içeriği üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Çalışmanın sonucunda plastik atıkların yoğunluğu azalttığı ve özellikle sert hava koşulları için üstün veya ekstra deformasyon nitelikleri sağladığını göstermiştir. Zainab Z. İsmail ve ark., (2008) fabriform şekilli atık plastikleri beton karışımında %20'ye kadar ince agrega yerine kullanmış ve mikro çatlakların yayılmasının atık plastikler tarafından durdurulduğu sonucuna varılmışlardır.

Bu çalışmada, öncelikli olarak boyuna donatı olarak kullanılan 2 faklı genişliğe sahip pet atığının çimento harcının mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkisi incelenmiştir. Daha sonra, 3 faklı boyutta kesilerek (lif oranı sabit kalmak şartı ile) dağınık bir şekilde matriks içinde dağılımının etkisi incelenmiştir. Pet atıklarının boyuna donatı gibi kullanımı ile aynı orandaki pet atıklarının lif şeklinde dağılımları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Deneyel çalışmada L/D oranı farklı 8 tip kesilmiş pet atıkları kullanılmıştır. Portland çimentosu Balıkesir Limak Çimento fabrikasından CEM-I (PÇ 42.5 R) olarak temin edilmiştir. Pet atıkları ilk grupta boyuna donatı görevini görecektir şekilde 4*4*16 cm lik standard kalıpların içine Şekil 1 de gösterildiği gibi sabitlenmiştir. 2. Grup olarak farklı L/D oranı şeklinde kesilip 4*4*4 cm boyutlarında harç numunesi üretimi sırasında aynı oranı teşkil edecek şekilde sisteme kesilmiş olarak dahil edilmiştir. Karışımındaki pet atıklarının boyutları Tablo 1'de verilmiştir. Portland çimentosunun kimyasal analizi ise Balıkesir Limak Çimento Fabrikasının laboratuvarlarında yapılmıştır. Kimyasal analiz için X-ışını kırılma yöntemi kullanılmış ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de belirtilmiştir.

Harç numuneleri, TS EN 196-1'de (2002) belirtilen oranlarda karışım oranlarına uygun şekilde üretilmiştir. Hazırlanan çimento harç, 4*4*16 cm boyutlarındaki standard prizmatik kalıplara ve 4*4*4 cm boyutlarındaki küp kalıplara dökülmüştür. 1 gün süreyle kalıpta bekletilen numuneler %95 nem ve 20°C sıcaklığa sahip kür odasında bakımları yapılmıştır. Harç numuneleri kalıplardan çıkarıldıktan sonra 20±2 °C sabit sıcaklığa sahip kür havuzlarına konulmuştur. 2., 7., 28. günlerde eğilmede çekme ve basınç deneyleri uygulanmıştır.

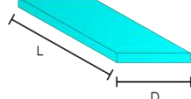
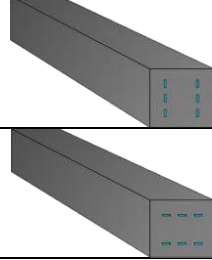
28 gün sonunda numuneler üzerinde tahribatsız deney yöntemlerinden biri olan ultra ses geçiş deneyleri yapılmış ve gerekli ölçümler alınmıştır. Ayrıca donma çözülme deneyleri yapılmıştır.

Donma-çözülme deneyleri için 28 gün bakımları yapılan numuneler, -20°C'de donma çözülme cihazında 4 saat bekletildikten sonra 4 saat 20°C sıcaklığında aynı cihaz içinde çözülmeleri sağlanmıştır. Bu döngü 25 kez tekrarlanmış ve donma-çözülme döngüsü sonunda numuneler basınç dayanımına tabi tutulmuştur. Aynı süreç içinde bakımına devam edilen kontrol numuneleri üzerinde de basınç deneyleri uygulanmış ve dayanım kayıpları (%) belirlenmiştir.



Şekil 1. Hazırlanan Pet Atıkları ve Kalıp İçinde Yerleşimi

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Pet Boyutları

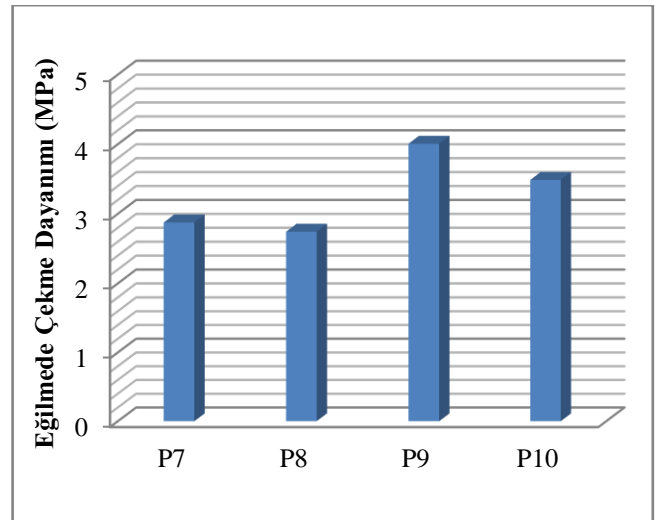
Numuneler	Uzunluk (L,cm)	Genişlik (D, cm)	Açıklama
P1	1	0,25	 <p>Farklı boyutlarda kesilmiş dağınık yayılmış pet atıkları</p>
P2	1	0,5	
P3	1,5	0,25	
P4	1,5	0,5	
P5	2,5	0,25	
P6	2,5	0,5	
P7	15,4	0,25	 <p>Kesilmeden boyuna yerleştirilen pet atıkları</p>
P8	15,4	0,5	
P9	15,4	0,25	
P10	15,4	0,5	

Tablo 2. Portland Çimentosunun Kimyasal Bileşeni

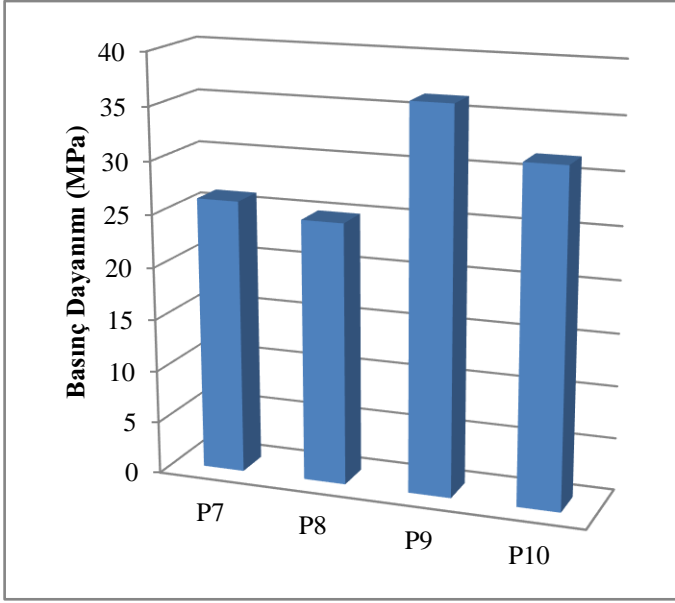
%	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.Kayıbı	S. CaO
PÇ	21,26	62,48	6,04	3,55	1,35	2,45	0,88	0,16	1,9	1,51

3. Bulgular

Öncelikle pet atıklarının boyuna donatı olarak kullanımının etkisi incelenmiştir. Şekil 2’de prizmatik numunelerin 28 günlük eğilmede çekme dayanımı grafikleri oluşturulmuştur. Genişlikleri (D= 0,25 cm ve D= 0,50 cm) farklı 2 adet pet donatısı kalıplar içerisine 2 farklı yönde yerleştirilmiştir. Kirişler üzerine etkiyen yük petlerin üzerine enine ve dikine gelecek şekilde uygulanmıştır (Tablo 1). Şekil 2’de görüldüğü üzere petlere enine (P9 ve P10) olarak uygulanan kuvvet sonucunda hesaplanan eğilmede çekme dayanımları doğal olarak yüksek çıkmıştır. Her iki farklı yükte durumu incelendiğinde 0,25 cm enine sahip numunelerin eğilmede çekme dayanımı yüksek çıkmıştır. En yüksek değer olan 4,01 MPa değeri P9 numunesinden elde edilmiştir. Eğilmede çekme deneyi sonucunda ikiye ayrılan numuneler üzerine basınç dayanımı uygulanmıştır. Elde edilen basınç dayanımı sonuçları Şekil 3 ‘de gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde eğilmede çekme dayanımı ile benzer sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir.



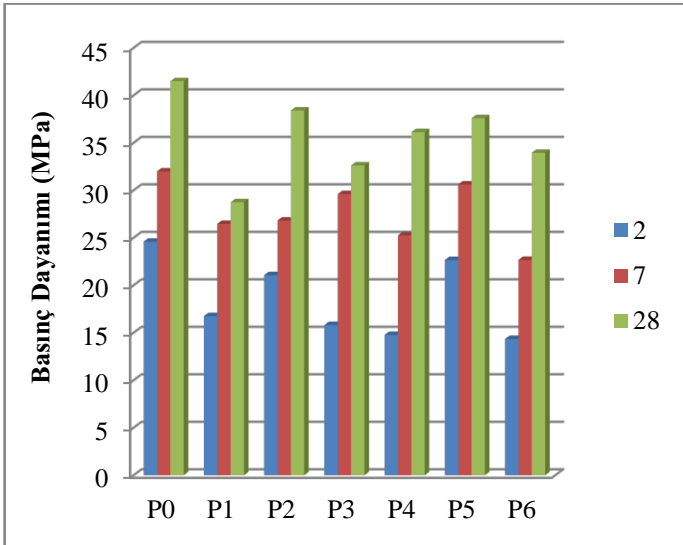
Şekil 2. Boyuna Yerleştirilen Pet Atıklarının 28 günlük Eğilmede Çekme Dayanımına Etkisi



Şekil 3. Boyuna Yerleştirilen Pet Atıklarının 28 günlük Basınç Dayanımına Etkisi

Aynı orandaki petlerin farklı boyutlarda kesilerek sisteme dahil edilmesiyle 4*4*4 cm lik harç numuneleri elde edilmiştir. Harç numuneleri üzerinde 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve deney sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir. 0,25 cm genişliğine sahip pet atıklarının 28 günlük dayanımları uzunluk arttıkça artmaktadır. D= 0,5 cm'lik numunelerde ise tam tersi 28 günlük dayanım değerleri azalmıştır. Bunun nedeni ince lif etkisinin sistem içinde dağılımından kaynaklı basınç dayanımına etkisini daha fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

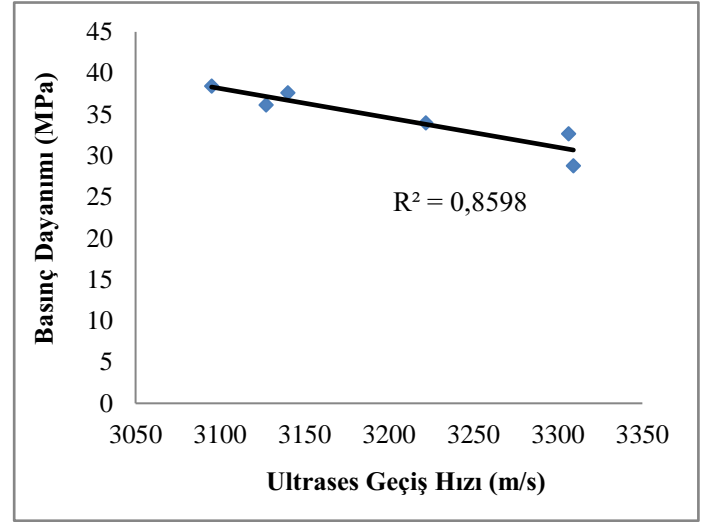
En yüksek 28 günlük basınç dayanımı değeri P2 (L=1 cm ve D=0,5 cm) numunesinden elde edilmiş olup basınç dayanımı 38,4 MPa'dır. Numunelerin L/D oranlarına bakılarak sonuçların yorumlanması durumunda en düşük orana (L/D=2) sahip P2 numunesinin basınç dayanımının yüksek çıktığı ifade edilebilir. Sisteme katılan kesilmiş pet atıklarının agrega görevi gördüğü düşünüldüğünde, şekil olarak pet boyutlarının birbirine yakın olduğu durumda basınç dayanımının yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.



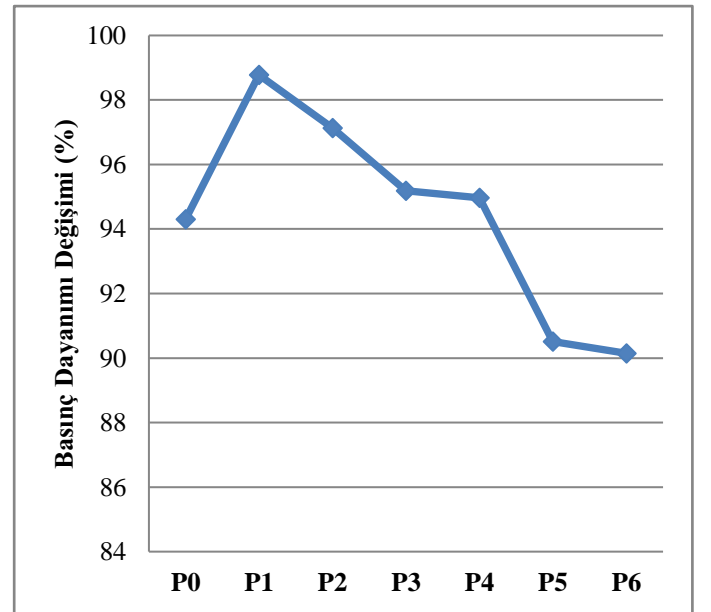
Şekil 4. Farklı Boyutlarda Kesilmiş Dağıntık Yayılmış Pet Atıklarının 28 günlük Basınç Dayanımına Etkisi

Çalışmada 28 günlük numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı ölçüm deneyleri yapılmıştır. Ultra ses hızları ve 28 günlük basınç dayanımları arasındaki ilişki Şekil 5 'de doğrusal bir grafik çizilerek oluşturulmuştur. Şekil 5 incelendiğinde ultrases geçiş hızı arttıkça pet karışımı numunelerin basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir ($R^2=0,86$). Bu durumun nedeni şöyle açıklanabilir; sistem içindeki kesilmiş petlerin içyapıdaki boşluk oranını arttırmayarak taneler arasındaki bağı daha kuvvetli hale getirmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

25 döngü sonucunda donma-çözülme etkisindeki basınç dayanımı değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Çimento harcı içerisindeki pet atıklarının boyutlarının artması donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılığını azalttığını söyleyebiliriz.



Şekil 5. Pet Atıkları İçeren Numunelerin Ultrases -Basınç Dayanımı İlişkisi



Şekil 6. Donma Çözülme Etkisinde Basınç Dayanımındaki Değişim (%)

4. Sonuçlar

Çalışmada aşağıdaki sonuçlara varmak mümkün olacaktır;

1) Pet atıklarının boyuna donatı olarak kullanıldığı durumunda, genişliği D=0,25 cm olan enine gelecek şekilde yüklenen numunenin eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı en yüksek değer olarak elde edilmiştir (P9).

2) Aynı orandaki petlerin farklı boyutlarda kesilerek sisteme dahil edilmesi durumunda, en yüksek 28 günlük basınç dayanımı değeri P2 (L=1 cm ve D= 0,5cm) numunesinden elde edilmiştir.

3) Ultrases geçiş hızı arttıkça pet karışımı numunelerin basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir ($R^2=0,86$).

4) Pet atıklarının donma-çözülme dayanıklılığına etkisinin pet boyutlarının artması ile azaldığını söyleyebiliriz.

Çalışmanın bir sonraki adımı için, farklı dayanıklılık özelliklerinin de incelenmesi uygun olacaktır. Ayrıca gerilme şekil değiştirme davranışının elde edilmesi sonucunda mekanik davranış hakkında daha farklı bilgilere de ulaşılabilir.

Kaynakça

- Akçaözoğlu S., Atis C.D., Akçaözoğlu K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285-290.
- Batayneh M., Marie I., Asi I. (2007). Use of Selected Waste Material in Concrete Mixes. *Waste Management*, 27(12),1870- 1876.
- Benazzouk A., Mezreb K., Doyen G., Goullieux A., Queneudec M. (2003). Effect of rubber aggregates on the physico-mechanical behaviour of cement-rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates. *Cem.Concr. Compos.* 25(7), 711–720.
- Choi Y.W., Moon D.J., Chung J.S., Cho S.K. (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cem Concr Res* 35, 776–781.
- Ghaly A., Gill M. (2004). Compression and Deformation Performance of Concrete Containing Postconsumer Plastics. *ASCE, J. Mater. Civ. Eng.*, 16(4), 289-296.
- Kim J.H.J., Park C.G., Lee S.W., Lee S.W., Won J.P. (2008). Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites. *Compos. Part B Eng.* 39, 441–450.
- Kim S.B., Yi N.H., Kim H.Y., Kim J.H.J., Y Song.C. (2010). Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement Concrete Composite*, 32, 232–240.
- Marzouk O.Y., Dheilily R.M., Queneudec M. (2007). Valorization of Post Consumer Waste Plastic in Cementitious Concrete Composites. *Waste Management*, 27 (2), 310-318.
- Naik T.R., Singh S.S., Huber C.O., Brodersen B.S. (1996). Use of Post-Consumer Plastics in Cement Based Composites. *Cement and Concrete Research*, 26, (10), 1489–1492.

- Rebeiz K.S. D. Fowler W. (1996). Flexural Strength of Reinforced Polymer Concrete Made with Recycled Plastic Waste. *ACI Structural Journal*, 93,(5), 524 – 530.
- Sivaraja M., Kandasamy S., Thirumurugan A. (2010). Mechanical Strength of Fibrous Concrete with Waste Rural Materials. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69, 308 – 312.
- TS EN 196-1 (2002) Methods of testing cement-part: 1 Determination of strength. Ankara, Turkey: Turkish Standard Institute.
- Zainab Ismail Z., Al – Hashmi Enas A. (2008). Use of Waste Plastic in Concrete Mixture as Aggregate Replacement. *Waste Management*, 28 (11), 2041 – 2047.



Ölçülen Yapraklanmaların Genelleştirilmiş Dynnikov Koordinat Sistemi

Alev Meral Dülger

Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
ve

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9838-7906), alev.meral@dicle.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Meral Dülger, A. (2021). Ölçülen Yapraklanmaların Genelleştirilmiş Dynnikov Koordinat Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 437-440.

Öz

Bu çalışmada, n ($n \geq 2$) adet işaretlenmiş nokta ve 1 adet sınır bileşenine sahip olan, 1 cinsli yönlendirilebilir S_n yüzeyindeki integral laminasyonlar için elde edilen genelleştirilmiş Dynnikov koordinatları, aynı yüzeyde tanımlı ölçülen yapraklanmalara genişletilmiştir. Daha açık olarak, S_n yüzeyinde tanımlı ölçülen yapraklanmaların uzayı ve $V_n = \{(a; b; T; c): c \leq 0 \text{ ve } T \neq 0\} \cup \{0\}$ olmak üzere $\mathbb{R}^{2n+2} \setminus V_n$ arasında bir homeomorfizm tanımlayan *genelleştirilmiş Dynnikov koordinat sistemi* tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ölçülen yapraklanma, İntegral laminasyon, Genelleştirilmiş Dynnikov koordinatları, Geometrik kesişim sayısı, İşaretlenmiş noktalı torus.

Generalized Dynnikov Coordinate System of Measured Foliations

Abstract

In this paper, the generalized Dynnikov coordinates obtained for the integral laminations on an orientable surface S_n of genus 1 with n ($n \geq 2$) punctures and 1 boundary component are extended to the measured foliations defined on the same surface. More specifically, *the generalized Dynnikov coordinate system*, which defines a homeomorphism between the space of measured foliations defined on S_n and $\mathbb{R}^{2n+2} \setminus V_n$, where $V_n = \{(a; b; T; c): c \leq 0 \text{ ve } T \neq 0\} \cup \{0\}$, is introduced.

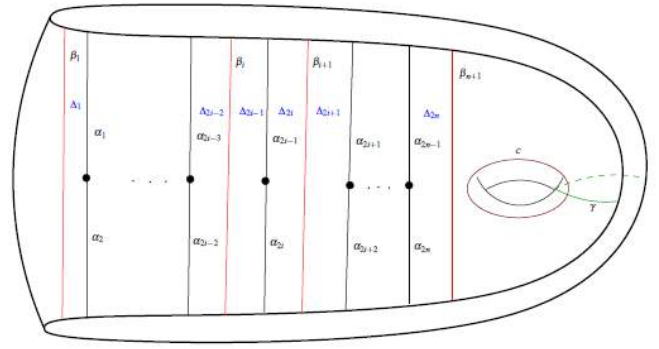
Keywords: Measured foliation, Integral lamination, Generalized Dynnikov coordinates, Geometric intersection number, Punctured torus.

1. Giriş

Bu çalışmanın amacı, n ($n \geq 2$) adet işaretlenmiş nokta ve 1 adet sınır bileşenine sahip olan, 1 cinsli yönlendirilebilir S_n yüzeyindeki integral laminasyonlar (bir integral laminasyon, sonlu sayıda esas basit kapalı eğrinin izotopi sınıflarının ayrık bir birleşimidir) için elde edilen genelleştirilmiş Dynnikov koordinatlarını, yine aynı yüzeydeki ölçülen yapraklanmalar için genişletmektir. Yüzeyin sonlu adet işaretlenmiş noktalı D_n ($n \geq 3$) diski olması durumunda, integral laminasyonları koordinatlandırmanın etkili bir yolu Dynnikov koordinat sistemini kullanmaktır (Dynnikov, 2002). 2002 yılında Dynnikov tarafından tanımlanmış Dynnikov koordinatları ve n -örgü grubunun Dynnikov koordinatları cinsinden etkisini veren kurallar bir çok dinamiksel ve kombinatorik problemin çözümünde kullanılmıştır. Dynnikov koordinatları, (Dehornoy, 2008) ve (Dehornoy ve ark., 2002)'de n -örgü grubunda kelime probleminin çözümünde çalışılmıştır. Daha sonra Moussafir örgülerin topolojik entropilerini yaklaşık olarak hesaplayan bir metot tanıtmıştır (Moussafir, 2006). Yurttaş, Moussafir'in tekniğinden esinlenerek Dynnikov koordinatları yardımıyla pseudo-Anosov örgü ailelerinin topolojik entropisini hesaplayan bir metot geliştirmiştir (Yurttaş, 2011). Meral, sonlu sayıda işaretlenmiş noktalı disk yüzeyindeki integral laminasyonlar için tanımlı Dynnikov koordinat sistemini, 1 adet sınır bileşeni ve n ($n \geq 2$) adet işaretlenmiş noktası olan 1 cinsli S_n yüzeyine genelleştirmiştir (Meral, 2021). Bu çalışmada, genelleştirilmiş Dynnikov koordinat sisteminin sebep olduğu, S_n 'deki integral laminasyonların kümesi ile $V_n = \{(a; b; T; c) : c \leq 0 \text{ ve } T \neq 0\} \cup \{0\}$ olmak üzere $\mathbb{Z}^{2n+2} \setminus V_n$ arasındaki birebir ve örten dönüşüm, S_n 'deki ölçülen yapraklanmaların uzayı ile $\mathbb{R}^{2n+2} \setminus V_n$ arasındaki homeomorfizmaya genişletilecektir. Bunun için, S_n yüzeyine gömülü $3n + 2$ adet yay ve 1 adet kapalı eğriden oluşan bir sistem kullanılmıştır. Verilen bir F ölçülen yapraklanması, bu sistemdeki yaylar ve eğri üzerine tayin edilen ölçüler kullanılarak $\mathbb{R}_{\geq 0}^{3n+3} \setminus \{0\}$ kümesinin bir elemanı tarafından tanımlanmıştır. S_n 'de tanımlı ölçülen yapraklanmaların kümesi $MF(S_n)$ olsun. Genelleştirilmiş Dynnikov koordinatları, yukarıda bahsedilen ölçülerin bir lineer birleşimidir. Genelleştirilmiş Dynnikov koordinat fonksiyonu, $MF(S_n)$ uzayı ile $\mathbb{R}^{2n+2} \setminus V_n$ arasında bir homeomorfizma vermektedir.

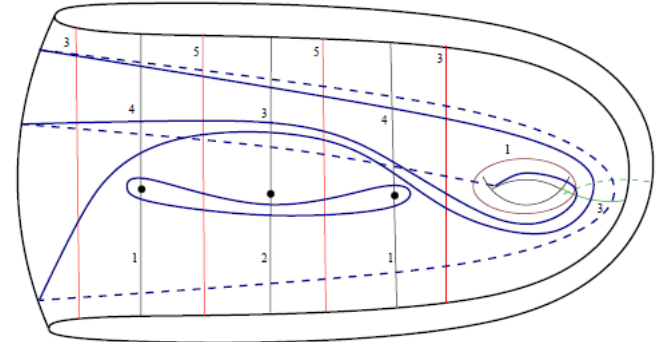
1. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde, S_n 'deki genelleştirilmiş Dynnikov koordinatlarını tanımlayacağız. Bunun için, Şekil 1'de gösterilen modeli kullanacağız. Burada α_i ($1 \leq i \leq 2n$) ve β_i ($1 \leq i \leq n + 1$) yayları, işaretlenmiş noktalı disk durumuna benzerdir. Böylece, bu yayların uç noktaları yüzeyin sınırında ve/veya işaretlenmiş noktaların üzerindedir. c , cinsi bir defa saran kapalı eğri ve γ , her iki uç noktası yüzeyin sınırında olan yaydır.



Şekil 1. $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ yayları ve c eğrisi (Meral, 2021)

S_n 'deki integral laminasyonların kümesi (bir integral laminasyon, uygun izotopi altında ayrık esas basit kapalı eğrilerin sonlu bir birleşimidir; örneğin, Şekil 2'ye bakabilirsiniz) L_n ve $L \in L_n$ olsun. Çalışma boyunca L 'nin ve F 'nin minimal birer temsilcileriyle çalışılmaktadır ve bu temsilciler sırasıyla l ve f (koordinat eğrilerini minimal bir şekilde kesen (ölçülen yapraklanma için, minimal bir şekilde ölçen) aynı izotopi sınıfındaki bir integral laminasyondur (bir ölçülen yapraklanmadır, sırasıyla)) ile gösterilmektedir. $(\alpha_1, \dots, \alpha_{2n}; \beta_1, \dots, \beta_{n+1}; \gamma; c) \in \{\mathbb{Z}_{\geq 0}^{3n+3}\} \setminus \{0\}$ vektörü, l 'nin karşılık gelen yaylar ve c basit kapalı eğrisiyle olan kesişim sayılarını gösterebilir. Örneğin $(4, 1, 3, 2, 4, 1; 3, 5, 5, 3; 3; 1)$, Şekil 2'de resmedilen l integral laminasyonunun kesişim sayılarıdır.



Şekil 2. İntegral laminasyon l 'nin koordinat eğrileriyle kesişim sayıları (Meral, 2021)

Tanım 1. $V_n = \{(a; b; T; c) : c \leq 0 \text{ ve } T \neq 0\} \cup \{0\}$ olsun. Genelleştirilmiş Dynnikov koordinat fonksiyonu $\theta: L_n \rightarrow \mathbb{Z}^{2n+2} \setminus V_n$ her $1 \leq i \leq n$ için

$$a_i = \frac{\alpha_{2i} - \alpha_{2i-1} - c^+}{2}, \quad b_i = \frac{\beta_i - \beta_{i+1}}{2}$$

ve

$$|T| = \begin{cases} 0, & \text{eğer } c^+ = 0, \\ \gamma - \frac{\beta_{n+1} - c^+}{2} - \frac{\beta_1 - c^+}{2}, & \text{eğer } c^+ \neq 0, \end{cases}$$

olmak üzere,

$$\theta(L) = (a; b; T; c) = (a_1, \dots, a_n; b_1, \dots, b_n; T; c)$$

şeklinde tanımlanır. Kesen bileşenler pozitif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = +1$, negatif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = -1$ 'dir (sgn , işaret (signum) fonksiyonudur).

Aşağıdaki teorem genelleştirilmiş Dynnikov koordinat fonksiyonunun tersini vermektedir. İspatını (Meral, 2021)'de bulabilirsiniz.

Teorem 1. $(a; b; T; c) \in \mathbb{Z}^{2n+2} \setminus V_n$ olsun. O zaman $(a; b; T; c)$ vektörü, geometrik kesişim sayıları aşağıda verilen bir ve yalnız bir $L \in L_n$ integral laminasyonuna karşılık gelir.

$$\kappa = \max_{1 \leq k \leq n} \left[2 \max(b_k, 0) + |2a_k + c^+| - 2 \sum_{j=k}^n b_j \right]$$

olmak üzere

$$\beta_i = 2 \sum_{j=i}^n b_j + \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right),$$

$$\beta_{n+1} = \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right) \quad (1.1),$$

$$\alpha_i = \begin{cases} \frac{2(-1)^i a_{[i/2]} + (-1)^i c^+ + \beta_{[i/2]}}{2}, & \text{eğer } b_{[i/2]} \geq 0, \\ \frac{2(-1)^i a_{[i/2]} + (-1)^i c^+ + \beta_{(1+[i/2])}}{2}, & \text{eğer } b_{[i/2]} \leq 0, \end{cases} \quad (1.2),$$

ve

$$\gamma = \begin{cases} |T| + \sum_{j=1}^n b_j + \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right) - c^+, & \text{eğer } c > 0, \\ |c| + \sum_{j=1}^n b_j + \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right) - c^+, & \text{eğer } c \leq 0. \end{cases}$$

(1.3)

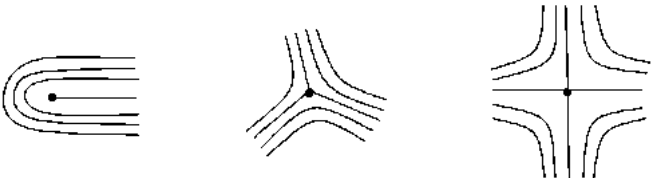
Burada $[x]$, x 'den küçük olmayan en küçük tam sayıdır. Kesen bileşenler pozitif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = +1$, negatif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = -1$ 'dir (sgn , işaret (signum) fonksiyonudur).

2.1. Ölçülen Yapraklanmalar

Bu bölümde ölçülen yapraklanma konusu için gerekli olan genel bilgiler verilecektir.

Tanım 2. S_n 'de bir F tekil yapraklanması, S_n 'nin yaprak adı verilen birbirinden ayrık yol bağlantılı alt kümelerine bir parçalanışıdır ve aşağıdaki koşulları sağlar:

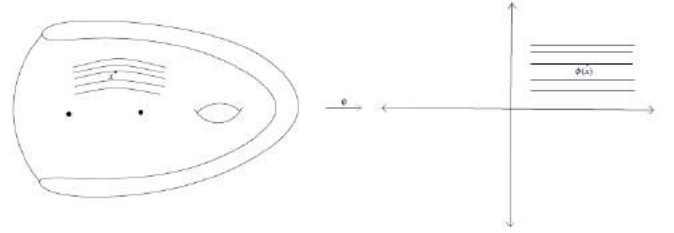
i. Başlangıçlı tekil nokta olan yaprak parçalarına *çatal* denir. Tekil noktalar, $p \geq 1$ çatal sayılarına göre sınıflandırılır. S_n^o 'deki bir p -çatalı tekil nokta civarındaki harita lokal olarak Şekil 3'teki gibidir. 1-çatalı tekil noktalar sadece S_n 'nin işaretlenmiş noktalarında olabilir.



Şekil 3. S_n^o 'deki yapraklanmaların 1-çatalı, 3-çatalı, 4-çatalı tekil noktaları

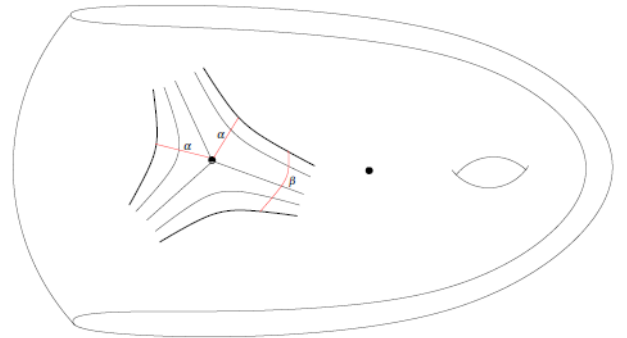
ii. Sonlu bir J tekil nokta kümesi dışındaki her $x \in S_n \setminus \partial S_n$ noktası Şekil 4'de gösterildiği gibi, $U \cap$ yaprak bileşenlerini

yatay doğrulara taşıyan bir $\phi: U \rightarrow \mathbb{R}^2$ haritası tarafından kapsanır.



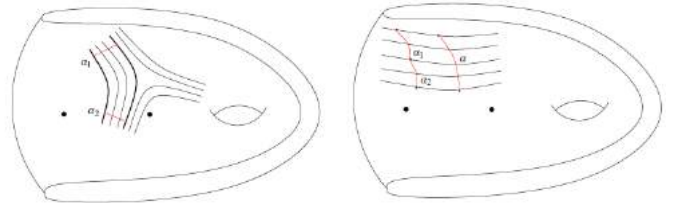
Şekil 4. $x \in S_n \setminus \partial S_n$ yakınındaki yapraklar

Tanım 3. S_n 'de bir α yayı, Şekil 5'de gösterildiği gibi F tekil yapraklanmasının tüm yapraklarını çapraz bir şekilde kessin ve bir $s \in J$ tekil noktasına girdiği bölge çıktığı bölgeden farklı olsun. Bu durumda α yayı F 'ye *çaprazdır* denir.



Şekil 5. Çapraz yaylar

Tanım 4. Bir F yapraklanması verildiğinde, F üzerindeki bir *çapraz ölçüm* μ , her çapraz α yayına bir $\mu(\alpha) \in \mathbb{R}^+$ pozitif sayısı atayan ve Şekil 6'da resmedilen aşağıdaki özellikleri sağlayan bir fonksiyondur:



Şekil 6. $\mu(\alpha_1) = \mu(\alpha_2)$ ve $\mu(\alpha_1) + \mu(\alpha_2) = \mu(\alpha)$

i. α_1 ve α_2 çapraz yayları, uç noktaları aynı yapraklar üzerinde olan diğer çapraz yaylar aracılığı ile birbirine izotop ise $\mu(\alpha_1) = \mu(\alpha_2)$ 'dir.

ii. $\alpha_1 \cap \alpha_2 = \partial \alpha_1 \cap \partial \alpha_2$ olacak şekilde $\alpha = \alpha_1 \cup \alpha_2$ ise $\mu(\alpha) = \mu(\alpha_1) + \mu(\alpha_2)$ 'dir.

Tanım 5. S_n 'de bir (F, μ) ölçülen yapraklanması, bir μ çapraz ölçümü ile donatılmış tekil yapraklanmadır.

Tanım 6. (F, μ) , S_n 'de bir ölçülen yapraklanma ve α , S_n 'de bir yay olsun. Yapraklanma üzerinde tanımlı μ ölçümünü kullanarak $\mu(\alpha)$ ölçüsü, $\alpha_1, \dots, \alpha_k$ α 'nın yapraklanmaya çapraz birbirinden ayrık alt yayları olmak üzere

$$\mu(\alpha) = \sup \sum_{i=1}^k \mu(\alpha_i)$$

olarak tanımlanır. $[\alpha]$, uç noktalara göre alınan izotopiler altında α 'nın izotopi sınıfını belirtsin. β yayları α 'a izotop ve (F, μ) 'e çapraz olmak üzere

$$\mu[\alpha] = \inf_{\beta \in [\alpha]} \mu(\beta)$$

olarak tanımlanır. Benzer şekilde, C elemanter kapalı esas eğrisi ve onun izotopi sınıfı $[C]$ için $\mu(C)$ ve $i(F, [C])$ tanımlanabilir.

3. Bulgular

İntegral laminasyonlar için elde edilen genelleştirilmiş Dynnikov koordinatları doğal bir şekilde ölçülen yapraklara genişletilebilir. Bu bölümde, integral laminasyonlar için elde edilen genelleştirilmiş Dynnikov koordinat sistemi ölçülen yapraklanmalara genişletilecektir.

Ölçülen yapraklanma için genelleştirilmiş Dynnikov koordinat fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Tanım 7. $V_n = \{(a; b; T; c) : c \leq 0 \text{ ve } T \neq 0\} \cup \{0\}$ olsun. $\vartheta: MF(S_n) \rightarrow \mathbb{R}^{2n+2} \setminus V_n$ genelleştirilmiş Dynnikov koordinat fonksiyonu, her $1 \leq i \leq n$ için

$$a_i = \frac{\mu([\alpha_{2i}]) - \mu([\alpha_{2i-1}]) - \mu([c^+])}{2},$$

$$b_i = \frac{\mu([\beta_i]) - \mu([\beta_{i+1}])}{2}$$

ve

$$|T| = \begin{cases} 0, & \text{eğer } \mu([c^+]) = 0, \\ \mu([\gamma]) - \frac{\mu([\beta_{n+1}]) - \mu([c^+])}{2} - \frac{\mu([\beta_1]) - \mu([c^+])}{2}, & \text{eğer } \mu([c^+]) \neq 0, \end{cases}$$

olmak üzere,

$$\vartheta(F) = (a; b; T; c) = (a_1, \dots, a_n; b_1, \dots, b_n; T; c)$$

olarak tanımlanır. Kesen bileşenler pozitif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = +1$, negatif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = -1$ 'dir (sgn , işaret (signum) fonksiyonudur).

Aşağıdaki teorem, ölçülen yapraklanma için genelleştirilmiş Dynnikov koordinat fonksiyonunun tersini vermektedir. İspatı, Teorem 1'in ispatı ile aynıdır.

Teorem 2. $(a; b; T; c) \in \mathbb{R}^{2n+2} \setminus V_n$ olsun. O zaman $(a; b; T; c)$ vektörü,

$$\kappa = \max_{1 \leq k \leq n} \left[2 \max(b_k, 0) + |2a_k + c^+| - 2 \sum_{j=k}^n b_j \right]$$

olmak üzere

$$\mu([\beta_i]) = 2 \sum_{j=i}^n b_j + \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right),$$

$$\mu([\beta_{n+1}]) = \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right)$$

$$\mu([\alpha_i]) = \begin{cases} \frac{2(-1)^i a_{[i/2]} + (-1)^i c^+ + \mu([\beta_{[i/2]}])}{2}, & \text{eğer } b_{[i/2]} \geq 0, \\ \frac{2(-1)^i a_{[i/2]} + (-1)^i c^+ + \mu([\beta_{(1+[i/2])}])}{2}, & \text{eğer } b_{[i/2]} \leq 0, \end{cases}$$

ve

$$\mu([\gamma]) = \begin{cases} |T| + \sum_{j=1}^n b_j + \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right) - c^+, & \text{eğer } c > 0, \\ |c| + \sum_{j=1}^n b_j + \max \left(c^+, c^+ - 2 \sum_{i=1}^n b_i, \kappa \right) - c^+, & \text{eğer } c \leq 0. \end{cases}$$

olacak şekilde bir ve yalnız bir $(F, \mu) \in MF(S_n)$ ölçülen yapraklanmasına karşılık gelir. Burada $[x]$, x 'den küçük olmayan en küçük tam sayıdır. Kesen bileşenler pozitif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = +1$, negatif yönde burğu yaptığında $\text{sgn}(T) = -1$ 'dir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, daha önce sadece sonlu bir şekilde işaretlenmiş noktalı disk üzerindeki ölçülen yapraklanmaları tek türlü olarak tanımlayan Dynnikov koordinat sistemi S_n yüzeyine genelleştirilmiştir. S_n yüzeyindeki ölçülen yapraklanmaları tek türlü koordinatlayan genelleştirilmiş Dynnikov koordinat sistemi ile birçok yeni problem çözülmesi planlanmaktadır. Örneğin, genelleştirilmiş Dynnikov koordinat sisteminin $g > 1$ cinsli yüzeylere genelleştirilmesi bunlardan biridir.

NOT: Yazar, bu çalışmadaki sonuçların yazarın doktora tezinden bir parça olduğunu belirtmek istemektedir.

Kaynakça

- Dynnikov, I. (2002). On a Yang-Baxter mapping and the Dehornoy ordering. *Uspekhi Mat. Nauk*, 57(3(345)), 151-152.
- Dehornoy, P. (2008). Efficient solutions to the braid isotopy problem. *Discrete Appl. Math.*, 156(16), 3091-3112.
- Dehornoy, P., Dynnikov, I., Rolfsen, D., Wiest, B. (2002). Why are braids orderable?. *Panoramas et Syntheses [Panoramas and Syntheses]*. Societe Mathematique de France, Paris, 14.
- Moussafir, J. (2006). On computing the entropy of braids. *Funct. Anal. Other Math.*, 1, 37-46.
- Yurttaş, S. Ö. (2011). Dynnikov coordinates and pseudo-Anosov braids. Doktora tezi, Liverpool Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Liverpool, 168.
- Meral, A. (2021). Dynnikov coordinates on punctured torus. *Turkish Journal of Mathematics*, 45(2), 661-677.



The Future Trend Natural Preservatives in the Food System: Essential Oils

Gulden Goksen¹, Pinar Gumus^{2*}

^{1*} Tarsus University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Food Technology, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5432-7936),
guldengoksen@tarsus.edu.tr

² Kilis 7 Aralık University, Faculty of Healthy Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, Kilis, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4085-9859),
pinargumus@kilis.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1004380)

ATIF/REFERENCE: Goksen, G. & Gumus, P. (2021). The Future Trend Natural Preservatives in the Food System: Essential Oils. *European Journal of Science and Technology*, (28), 440-443.

Abstract

Essential oils mainly used in food industry for food preservation are a main source of many bioactive compounds, which have antioxidant property, antimicrobial activity and also flavoring agents. Natural preservatives used in food products are suitable to be used for food preservation in order to extend the shelf-life and maintain the quality of foods. In this preservative application, more alternative approaches is required in order to meet consumer demands, establish food quality and preserve food products from environmental factors and maintain safety of foods due to increasing consumer awareness for healthy food products. This study presents an overview of essential oils and use of essential oils in the preservation of food products and also the most recent researches on essential oils incorporate into the food system.

Keywords: Essential oil, Natural preservatives, Food system, Lipid oxidation, Shelf life

Gıda Sisteminde Geleceğin Trendi Doğal Koruyucular: Esansiyel Yağ

Öz

Temel olarak gıda endüstrisinde gıda muhafazası için kullanılan uçucu yağlar, antioksidan özelliği, antimikrobiyal aktivite ve ayrıca aroma verici ajanları olan birçok biyoaktif bileşimin ana kaynağıdır. Gıda ürünlerinde kullanılan doğal koruyucular, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve kalitesini korumak amacıyla gıda muhafazasında kullanılmaya uygundur. Bu koruyucu uygulamada, tüketici taleplerinin karşılanması, gıda kalitesinin oluşturulması ve gıda ürünlerinin çevresel faktörlerden korunması ve sağlıklı gıda ürünlerine yönelik tüketici bilincinin artması nedeniyle gıdaların güvenliğinin sağlanması için daha alternatif yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma uçucu yağlar ve gıda ürünlerinin korunmasında uçucu yağların kullanımına ve ayrıca gıda sistemine dahil edilen uçucu yağlarla ilgili en son araştırmalara genel bir bakış sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Esansiyel yağ, Doğal koruyucular, Gıda sistemi, Yağ oksidasyonu, Raf ömrü.

* Corresponding Author: pinargumus@kilis.edu.tr

1. Introduction

The demands of most consumers for secure and natural food products are increasing day by day. Many foods involve barrier against microbial deterioration and oxidation process during their shelf-life. Essential oils as naturally occurring active ingredient can prevent the development of superficial food pathogens. They can be combined into packaging for incremental release during shipping and storage in order to prolong shelf life and maintain nutritional, quality and organoleptic properties [1, 2].

Essential oils produced by steam or hydro-distillation from aromatic plant materials such as flowers, buds, seeds, leaves, twigs, bark, herbs, wood, fruits and roots obtained by plants relation to angiospermic families, are volatile or semi-liquids and liquid aroma compounds [1, 3-6]. Expression, fermentation, effleurage or extraction, steam distillation and hydro-distillation are widely preferred for commercial production of essential oils. Freeze drying, rotary evaporation, steam distillation, hydrolyzation and Gas chromatography are used in these extraction process [7].

Essential oils used for many purposes are classified according their applications: perfumery, soap and cosmetic sector; food and beverages industry as flavoring agents and preservation supplements agro-industrial proposes; medical and alternative medico-therapeutically techniques [7,8]. Essential oils exhibit many bioactivities such as antimicrobial, antibacterial, insecticidal, anti-inflammatory, antifungal, anticancer, antidiabetic, antiulcerogenic and antianxiety activities. They also have antioxidant activity however essential oils have lower antioxidants compared to commercial antioxidants [9-11].

Food packaging is aimed to defend food from extrinsic factors like temperature, moisture and light. Packages also preserve its content from other ambient factors such as odors, microorganisms, shocks, dust, vibrations and pressure forces [1]. Essential oils can be integrated into packaging, they can be alter the matrix of packaging compounds. Essential oils are volatile, moisture, light, heat-sensitive, oxygen and well-preserved by encapsulation [8,9,12].

Food degradation is generally reasoned due to the oxidation period. It occurs during the processing and storage of food products and influences organoleptic and quality attributes. For example, a decrease in nutritional quality and the formation of rancid odours and flavours, toxic compounds, discolouration, changes in texture. It is necessary to inhibit oxidation by using natural antioxidants in food packaging which will result in an increment of consumer satisfaction [13,14]. This study focused on essential oils and use of essential oils in the preservation of food products and also the most recent researches on essential oils incorporate into the food system.

2. The Preservation Potential of EOs in Food Systems

During recent decades, there has been fruitful investigation on the use of essential oils in the preservation of food products in order to extend shelf life. Many researchers have utilized essential oils in order to are either included as food ingredients

or to packaging, to prolong the shelf-life of food products [15, 16, 17].

Essential oils as food preservatives with antibacterial and antioxidant properties get an acceptable utilization clinical utility for people and animals. A number of EOs and their principal components have been investigated using various toxicity testing, such as acute oral, dermal, and inhalation, primary eye and dermal and dermal sensitization, for the determination of their safety threshold spectrum throughout the last several years [15, 18].

As a result, the European Commission (EC) and the United States Food and Drug Administration (FDA) classifies some EOs, their components, and mixtures as generally recognized as safe (GRAS), and they approve to be used as natural food preservatives and flavouring agents. According to FDA, pure essential oils such as sage, thyme, coriander, ginger, basil, cinnamon, nutmeg, oregano, are labelled as GRAS, all of them are deemed safe within the recommended daily limits. In addition, several EOs components such as carvacrol, carvone, eugenol, thymol, linalool, cinnamaldehyde, citral, limonene, and menthol are endorsed as eco-friendly food additives [19].

In the beginning, EOs select as food preservative agents obviously based on their compositions and properties. Karoui and Hassoun (2017) reported that 1% concentration of basil and rosemary EOs showed different activity. While basil EO had higher antimicrobial activity, rosemary EO was more antioxidant activity. So their effects are distinct on food one is inhibiting foodborne pathogens the other is preventing rancidity [20].

The use of EOs as food preservatives should involve detailed information on the impact of food matrix components on EO antibacterial activities. EOs can interact with main food ingredients such as fat, protein, carbohydrate, and as a result, the effectiveness of EOs can be changed. Furthermore, some external factors like processing, packaging, temperature, humidity, microorganisms' varieties, and microbial load affect their activity [21, 22]. Previous research reported that while EOs actions decrease against microorganisms the presence of a high amount of fat and protein content in the food matrix, also increases at the acidic food [19].

Food products, particularly meat and dairy products are sensitive to oxidization because of their composition. During the storage of these products, these reactions cause degradation and the formation of unpleasant chemicals and tastes, and odours. Because of the undesirable sensory qualities and health problems, customers may reject to consume rancidity products. In this way, the usage of essential oils may help to prevent lipid oxidation [23]. Mohamed and Mansour (2012) demonstrated that rosemary and marjoram EOs showed to be effective against lipid oxidation into frozen beef patties and during sensory evaluation, panellists give more scores to EOs incorporation patties [24].

Friatianni et al. (2010) evaluated the effect of the addition of thyme essential oils into in fresh chicken breast meat during storage of 3 weeks at 4 °C. Thyme was exhibited to decline the lipid peroxidation, avoid the deterioration of protein, and prolonged the shelf-life of the chicken breast [25]. In melon, apple and pear juices, lemongrass EO, geraniol and cinnamon were effective to inactivate *Salmonella Enteritidis*, *E. coli*, and *L. innocua* [26]. When essential oils are applied to cheese, they indicate an antibacterial effect. Cheese has been recognized as one of the most widely consumed foods in the world, yet it is

particularly susceptible to contamination by a variety of pathogenic spoilage bacteria, which could reduce its shelf life and present significant health risks to customers [27].

The cumin, rosemary and thyme EOs effect on physicochemical, microbial, rheological and sensorial attributes of soft cheese was obtained. According to the data, preventing the growth of *E. coli*, *S. typhi*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *B. cereus* and *A. niger* on cheese. Thus, essential oils supplied an extension of shelf life and improvement for consumer perception [28]. Singh, Kapoor, and Singh (2011) established that the spoilage caused by bacteria was well controlled when anise EO and its oleoresin were added with yogurt at varying concentrations (0.1–1.0 g/L) [29].

3. Conclusions and Recommendations

This review paper has exhibited the most recent researches on essential oils incorporate into the food system. The interest in natural ingredients against bacterial spoilage and lipid oxidation has increased as consumer preference for clean label and chemical-free alternatives has grown. Essential oils as natural additives, antibacterial, and antioxidant agents recognized as GRAS have received considerable attention. The successful protection application in food systems could be made possible by encapsulating essential oils without the effects on organoleptic properties of food. Before authorization for its utilization as natural preservatives in food industries, there is more clinical research need to verify the acute or chronic effects.

References

- [1] Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., de Melo, N. R., & Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in food science & technology*, 61, 132-140.
- [2] Ataei, S., Azari, P., Hassan, A., Pingguan-Murphy, B., Yahya, R., & Muhamad, F. (2020). Essential oils-loaded electrospun biopolymers: A future perspective for active food packaging. *Advances in Polymer Technology*, 2020.
- [3] Hamid, A. A., Aiyelaagbe, O. O., & Usman, L. A. (2011). Essential oils: its medicinal and pharmacological uses. *International journal of Current research*, 33(2), 86-98.
- [4] Saad, N. Y., Muller, C. D., & Lobstein, A. (2013). Major bioactivities and mechanism of action of essential oils and their components. *Flavour and Fragrance Journal*, 28(5), 269-279.
- [5] Solgi, M., & Ghorbanpour, M. (2014). Application of essential oils and their biological effects on extending the shelf-life and quality of horticultural crops. *Trakia Journal of Sciences*, 12(2), 198-210.
- [6] El Asbahani, A., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. A., Casabianca, H., ... & Elaissari, A. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International journal of pharmaceutics*, 483(1-2), 220-243.
- [7] Herman, R. A., Ayepa, E., Shittu, S., Fometu, S. S., & Wang, J. (2019). Essential oils and their applications-a mini review. *Adv Nutr Food Sci*, 4(4), 1-13.
- [8] Vintilă, I. (2017). Basic structure, nomenclature, classification and properties of organic compounds of essential oil. *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*, 173-190.
- [9] Morsy, N. F. S. (2017). Chemical structure, quality indices and bioactivity of essential oil constituents. *Act. Ingrid. Aromat. Med. Plants*, 175-206.
- [10] Setyaningsih, D., & Siahaan, D. G. (2018, December). The Influence of Essential Oil Addition to Oxidative Stability of Palmoil Biodiesel. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 209, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- [11] Kumar, A., Singh, P., Gupta, V., & Prakash, B. (2020). Application of nanotechnology to boost the functional and preservative properties of essential oils. In *Functional and Preservative Properties of Phytochemicals* (pp. 241-267). Academic Press.
- [12] Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of food science*, 79(7), R1231-R1249.
- [13] Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in food science & technology*, 48, 51-62.
- [14] Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2020). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, 128403.
- [15] Pandey, A. K., Kumar, P., Singh, P., Tripathi, N. N., & Bajpai, V. K. (2017). Essential Oils: Sources of Antimicrobials and Food Preservatives. *Frontiers in Microbiology*, 7(2161).
- [16] Prakash, B., Kedia, A., Mishra, P. K., & Dubey, N. K. (2015). Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities – Potentials and challenges. *Food Control*, 47, 381-391
- [17] Göksen, G., Fabra, M. J., Ekiz, H. I., & López-Rubio, A. (2020). Phytochemical-loaded electrospun nanofibers as novel active edible films: Characterization and antibacterial efficiency in cheese slices. *Food Control*, 112, 107133.
- [18] Prakash, B., Singh, P., Kedia, A., & Dubey, N. K. (2012). Assessment of some essential oils as food preservatives based on antifungal, antiaflatoxin, antioxidant activities and in vivo efficacy in food system. *Food Research International*, 49(1), 201-208.
- [19] Falleh, H., Ben Jemaa, M., Saada, M., & Ksouri, R. (2020). Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food Chemistry*, 330, 127268.
- [20] Karoui, R., & Hassoun, A. (2017). Efficiency of rosemary and basil essential oils on the shelf-life extension of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) fillets stored at 2 C. *Journal of AOAC International*, 100(2), 335-344.
- [21] Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems—A review. *Food Control*, 54, 111-119.
- [22] Rodriguez-Garcia, I., Silva-Espinoza, B., Ortega-Ramirez, L., Leyva, J., Siddiqui, M., Cruz-Valenzuela, M., . . . Ayala-Zavala, J. (2016). Oregano essential oil as an antimicrobial and antioxidant additive in food products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(10), 1717-1727.
- [23] Pateiro, M., Barba, F. J., Domínguez, R., Sant'Ana, A. S., Mousavi Khaneghah, A., Gavahian, M., . . . Lorenzo, J. M. (2018). Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 113, 156-166.
- [24] Mohamed, H. M., & Mansour, H. A. (2012). Incorporating essential oils of marjoram and rosemary in the formulation of beef patties manufactured with mechanically deboned

- poultry meat to improve the lipid stability and sensory attributes. *LWT-Food Science and Technology*, 45(1), 79-87.
- [25] Fratianni, F., De Martino, L., Melone, A., De Feo, V., Coppola, R., & Nazzaro, F. (2010). Preservation of chicken breast meat treated with thyme and balm essential oils. *Journal of Food Science*, 75(8), M528-M535.
- [26] Raybaudi-Massilia, R. M., Mosqueda-Melgar, J., & Martin-Belloso, O. (2006). Antimicrobial activity of essential oils on *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, and *Listeria innocua* in fruit juices. *Journal of food protection*, 69(7), 1579-1586.
- [27] Mishra, A. P., Devkota, H. P., Nigam, M., Adetunji, C. O., Srivastava, N., Saklani, S., . . . Mousavi Khaneghah, A. (2020). Combination of essential oils in dairy products: A review of their functions and potential benefits. *LWT*, 133, 110116.
- [28] EL-Kholy, W., & Aamer, R. (2017). Effect of Some Essential Oils on the Quality of UF-Soft Cheese During Storage. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 14(1), 13-28.
- [29] Singh, G., Kapoor, I. P. S., & Singh, P. (2011). Effect of volatile oil and oleoresin of anise on the shelf life of yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(6), 778-783.



Power Allocation Algorithms for Massive MIMO System

Osman Dikmen^{1*}, Selman Kulaç²

^{1*} Duzce University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, Duzce, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8276-153X),
osmandikmen@duzce.edu.tr

² Duzce University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, Duzce, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7737-1569),
selmankulac@duzce.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005325)

ATIF/REFERENCE: Dikmen, O., Kulaç, S., (2021). Power Allocation Algorithms for Massive MIMO System. *European Journal of Science and Technology*, (28), 444-452.

Abstract

Massive multiple-input multiple-output (MIMO) is still valid as an important system to increase performance of fifth generation (5G) and beyond wireless communication technologies. Spectrum efficiency (SE), high data rate and energy efficiency (EE) are among these performances. Recently, due to the increase in interconnected devices, the spread of internet of things (IoT) systems and the limited resources, various performance improvements have become inevitable. It is seen that there are various studies to realize such improvements with Massive MIMO. There are many researches especially for spectrum efficiency and energy efficiency. Because issue of energy and bandwidth problem are among the issues that need to be solved and developed first. In recent years, it is understood that power allocation algorithms have been focused on solving these two problems. In this study, researches on power allocation algorithms for MIMO systems are examined. The main points of the studies are emphasized. In addition, the comparison of three different power allocation algorithms, which will be among the basic power allocation algorithms, are carried out in terms of spectrum efficiency.

Keywords: Power allocation, 5G, Massive MIMO, Spectrum efficiency, Energy efficiency.

Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistemler için Güç Tahsisi Algoritmaları

Öz

Çok büyük çok girişli çok çıkışlı sistem (Massive MIMO) beşinci nesil (5G) ve ötesi kablosuz iletişim teknolojilerinin performanslarını geliştirmek için önemli bir sistem olarak hala geçerliliğini korumaktadır. Spektrum verimliliği (SE), enerji verimliliği (EE) bu performanslar arasındadır. Son zamanlarda birbirleriyle bağlantılı cihazların artması, internet of things (IoT) sistemlerin gün geçtikçe yayılması ve buna rağmen kaynakların sınırlı olmasından dolayı çeşitli performans geliştirmeleri kaçınılmaz olmuştur. Massive MIMO ile birlikte bu tür iyileştirmeleri gerçekleştirmek için çeşitli çalışmaların olduğu görülmektedir. Özellikle spektrum verimliliği ve enerji verimliliği için birçok araştırmalar mevcuttur. Çünkü enerji konusu ve bant genişliği problemi ilk olarak çözülmesi ve geliştirilmesi gereken konular arasındadır. Son yıllarda bu iki problemin çözümüne yönelik güç tahsisi algoritmalarına odaklanıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, güç tahsisi algoritmaları hakkındaki araştırmalar incelenmiştir. Çalışmaların temel noktaları üzerinde durulmuştur. Ayrıca temel güç tahsisi algoritmaları arasında yer alacak üç farklı güç tahsisi algoritmasının birbirleri arasında kıyaslaması spektrum verimliliği açısından gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç tahsisi, 5G, Çok girişli çok çıkışlı sistem, Spektrum verimlilik, Enerji verimliliği.

* Corresponding Author: osmandikmen@duzce.edu.tr

1. Introduction

Wireless communication technologies become increasingly popular. Massive MIMO is a communication method which uses a large number of inputs and outputs that helps these advances, thanks to multiple antenna equipment on the receiving and transmitting side. Especially with the developments such as smart cities, industrial breakthroughs, devices communicating with each other and their applications, the importance of spectrum efficiency (SE) and energy efficiency (EE) has increased day by day. That is, with the increase in user data, limited spectrum resources should be used effectively. In addition, due to the fact that the energy resources are not infinite, the efficiency of the technologies whose use is increasing should be kept in the foreground.

Massive MIMO studies continued to increase day by day with the study in (Marzetta, 2010). It attracts the attention of researchers in terms of the benefits it provides. It has an important place in improving the SE and EE of 5G and beyond technologies (Boccardi et al., 2014). Various studies on this subject are available in the literature. Massive MIMO is a technique that might be used in 5G networks due to its advantages (Marzetta, 2010), (Rusek et al., 2013), (Larsson et al., 2014) and (Ngo et al., 2013) in improving efficiency of spectrum and energy (Boccardi et al., 2014), (Wang et al., 2014). To solve Massive MIMO's complexity problem, linear detectors such as maximum ratio combining (MRC), zero forcing (ZF) or minimum mean-square error (MMSE) have been developed (Rusek et al., 2013) and (Ngo et al., 2013).

Power allocation algorithms have recently been a hot topic in the Massive MIMO community as a way to enhance SE and EE. Due to limited bandwidth and growing user density, SE is a popular metric in communication systems. In Time Division-Long Term Evolution-Advanced (TD-LTE-A) and 5G networks, beamforming technology is utilized to increase SE and system capacity. On the basis of fulfilling user equipment (UE) needs, a suitable power allocation method can also be employed to enhance SE. There has been a lot of focus on EE in recent years, thanks to the fast growth in power usage in communication systems. Thus, power allocation is a necessary technique to improve system performance and promote energy savings. To further exploit the advantages of power allocation, more and more studies for power allocation in Massive MIMO networks have been proposed as (Liu et al., 2017) and (Björnson et al., 2016).

1.1. Contribution of the Study

The contributions of the study are to present performance metrics of power allocation algorithms that provide SE and EE for Massive MIMO systems. In addition, it is to identify the traditional power allocation algorithms on which the power allocation algorithms are developed. Besides, it is to create the information with which method the proposed algorithms are compared. Therefore, bringing such a study to the literature, especially for the mentioned importance of SE and EE, will encourage researchers who will work on these issues.

Besides, the comparison of new power allocation algorithms proposed in the literature is usually made with methods such as EPA, max-min fair power allocation and max product SINR power allocation. Comparison of these three basic power

allocation algorithms with each other in terms of SE in Massive MIMO uplink systems was carried out.

1.2. Organization

The article is organized as follows. The second section explains fundamental MIMO power allocation methods. The final expressions of the equations of these algorithms are indicated. In Chapter 3, traditional power allocation algorithms -which are compared with the proposed new algorithms- are compared within themselves. For this, basic analyzes of standard power allocation techniques are demonstrated. After these analyses, simulations were performed and the results were obtained in Chapter 4. The aim here is to observe the relative states of the known power allocation algorithms compared to each other. Finally, the article was concluded in Chapter 5 and an overall evaluation was carried out.

2. Power Allocation for MIMO Systems

MIMO systems are a technology that emerged with the equipping of hundreds of antennas at the base station. Therefore, there are more antennas on the transmitting side compared to conventional methods. In the case of one or several antennas in conventional systems, it was relatively easy to allocate the power used. Because generally the total power was transferred to these antennas. However, after it was clearly demonstrated that MIMO systems have become increasingly essential in the development of systems and in increasing the capacities of 5G and beyond technologies, problems began to arise about how the total power should be used. In order to enhance MIMO capacity, the best distribution of total power to transmit antennas is an optimization issue that must be addressed (Kshetrimayum, 2017). Before this problem was considered, power was usually distributed equally to all antennas. Considering that there is such an optimization problem, different strategies have been started to be developed. Thus, it is possible to increase the capacity by allocating more power to the good ones of the MIMO channels. Therefore, CSI is important for power allocation. According to the situation of this information, strategies such as uniform power allocation and adaptive power allocation based on Water-filling (WF) are developed. In addition, various optimal power allocations are considered according to the high and low signal-to-ratio (SNR) status.

Assuming that CSI is completely known in MIMO systems, power allocation is made according to the state of the channels. The figures showing the transmit power in the downlink and uplink states for a MIMO system are indicated in the study in (Dikmen & Kulac, 2019). Channels with good transmit power are allocated more power and channels with poor transmission power are allocated less or no power at all.

WF algorithm has been proposed to improve this issue and increase the capacity (Cheng & Verdu, 1993). However, the WF algorithm is not sufficient for high-capacity services. For this reason, power allocation strategies are being developed, both WF-based and with other techniques. One of them is the Quality of Service (QoS) based WF algorithm (Xi Zhang & Ottersten, 2003).

Generally, power allocation for MIMO systems can be examined under three headings as uniform (equal) power allocation, adaptive power allocation and near-optimal power allocation as shown in Figure 1 (Kshetrimayum, 2017).

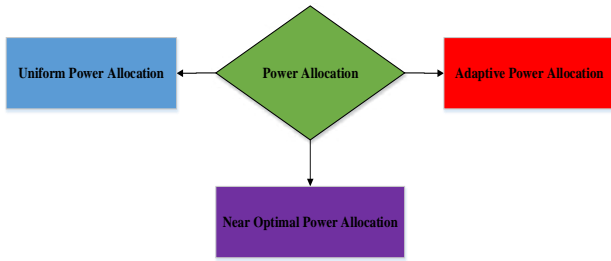


Figure 1. Power allocation scheme

2.1. Uniform (Equal) Power Allocation

Uniform power allocation, in other words, EPA is used in MIMO systems where CSI is known only at the receiver (Nezamalhoseini & Chen, 2021). One of the most important factors in choosing this method is that it provides low complexity (F. Tan et al., 2018). Therefore, it was mostly preferred especially in the early days of MIMO systems. However, considering the situations where there is a limited power limit, it is important to develop different strategies. Because the same power is allocated to the user with a bad channel due to EPA, there is no effective use of power (Gandotra & Jha, 2017).

The upper limit of the maximum capacity ratio that the communication systems can reach was determined by the study by Shannon (Shannon, 1948). Therefore, the highest point where the capacities of MIMO systems can be increased is also obvious. In a MIMO system with an N_T transmit antenna and an N_R receiving antenna, assuming \mathbf{x} represents the input signal vector and \mathbf{y} the output signal vector, the capacity of the MIMO system are given by (Duman & Ghrayeb, 2007), ('MIMO Syst. Theory Appl.', 2011):

$$C = H(\mathbf{Y}) - H(\mathbf{N}), \tag{1}$$

where $H(\mathbf{Y})$ and $H(\mathbf{N})$ in this expression are the entropy of the received signal and the noise signal, respectively. $\mathbf{R}_x = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^H\}$, $\mathbf{R}_n = E\{\mathbf{n}\mathbf{n}^H\}$ and $\mathbf{R}_y = E\{\mathbf{y}\mathbf{y}^H\}$ represent the covariance matrix of transmitted signal, noise signal and received signal, respectively. In this case, ρ represents SNR is given as ('MIMO Syst. Theory Appl.', 2011):

$$\mathbf{R}_y = E[\mathbf{y}^H\mathbf{y}] = \rho\mathbf{H}^H\mathbf{R}_x\mathbf{H} + \mathbf{I}_{N_R}. \tag{2}$$

In line with this information, the capacity expression can be rewritten as

$$C = \log_2 \det(\rho\mathbf{H}^H\mathbf{R}_x\mathbf{H} + \mathbf{I}_{N_R}). \tag{3}$$

Also, since \mathbf{R}_x is the covariance matrix of the transmitted signal, this expression can be represented as follows (Kshetrimayum, 2017).

$$\mathbf{R}_x = \frac{P}{N_T} \mathbf{I}_{N_T}. \tag{4}$$

As a result of these equations, the capacity expression takes the form expressed in (Vucetic & Yuan, 2003).

$$C = \log_2 \det \left(\mathbf{I}_{N_R} + \frac{P}{N_T\sigma^2} \mathbf{H}^H\mathbf{H} \right). \tag{5}$$

2.2. Adaptive Power Allocation

Adaptive power allocation using the WF method is commonly used in MIMO systems when CSI is known on both the receiving and transmitting sides (Kshetrimayum, 2017). Knowing the CSI in the transmitter is possible with a feedback system. Such a MIMO system is also called closed loop (Kshetrimayum, 2017). Thanks to the WF algorithm, more power can be allocated to those with good channel status and less power to those with bad channel status.

WF algorithm aim is to allocate more power to channels with high SNR ('MIMO Syst. Theory Appl.', 2011). The total power is allocated to the antennas based on the eigenvalues of the channel matrix (Ivanis & Drajić, 2003). In this way, maximum capacity can be achieved with WF in MIMO systems where CSI is known at the receiver and transmitter (Yoshimoto & Hattori, 2007).

P_i i-th channel power, λ_i $\mathbf{H}^H\mathbf{H}$ matrix eigenvalues and \mathbf{H} channel matrix rank r ; channel capacity can be written as (Ivanis & Drajić, 2003)

$$C = \sum_{i=1}^r \log_2 \left(1 + \frac{P_i\lambda_i}{\sigma^2} \right). \tag{6}$$

By choosing P_i appropriately, it is ensured that the capacity is maximum. WF algorithm

$$\sum_{i=1}^{N_T} P_i = P \tag{7}$$

performed under power constraint. Here P is the total power. Due to the WF algorithm, P_i is given as follows (Yoshimoto & Hattori, 2007).

$$P_i = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{\lambda_i} \right)^+. \tag{8}$$

Where,

$$(a)^+ = \begin{cases} a, & a > 0 \\ 0, & a \leq 0 \end{cases}. \tag{9}$$

If the Lagrange multipliers method is applied to the expression in equation (6) as in (Prayongpun & Raouf, 2007) and (Khalighi et al., 2001), the new expression takes the form in ('MIMO Syst. Theory Appl.', 2011).

$$Z = \sum_{i=1}^r \log_2 \left(1 + \frac{P_i \lambda_i}{\sigma^2} \right) + L \left(P - \sum_{i=1}^r P_i \right) \quad (10)$$

Here L is the Lagrange multiplier. P_i is found by equating the partial derivatives of Equation (11) to zero (Vucetic & Yuan, 2003). Hence,

$$\frac{\delta Z}{\delta P_i} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\delta \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{P_i \lambda_i}{\sigma^2} \right) - L P_i \right\}}{\delta P_i} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{1}{\ln 2} \frac{\lambda_i / \sigma^2}{1 + P_i \lambda_i / \sigma^2} - L = 0. \quad (13)$$

Thus, P_i in Equation (8) is obtained. μ is a constant value under total power constraint and is calculated as follows (Vucetic & Yuan, 2003).

$$\mu = \frac{1}{L \ln 2}. \quad (14)$$

Power allocation is an optimum solution thanks to the WF algorithm ('MIMO Syst. Theory Appl.', 2011). Therefore, the maximum capacity can be reached with the method to be applied according to the state of the MIMO system. Apart from WF, which offers EPA and an optimum power allocation, a near-optimal power allocation solution is also available. Below are brief considerations of near-optimal power allocation.

2.3. Near-Optimal Power Allocation

Optimal power allocation approaches usually require many iterations (Chang Soon Park & Kwang Bok Lee, 2002). Because optimum power allocation with adaptive solution approach is a multi-purpose non-convex problem. Therefore, the computational complexity is high (Hu et al., 2014). Due to this convex problem, near-optimal power allocation algorithms are being developed as a simpler method to obtain an analytical solution (Wubben & Lang, 2008). The computational complexity in optimal power allocation approaches is less than in simpler solutions, near-optimal power allocation methods. The near-optimal power

allocation can be converted into the following closed form expressions according to the state of the SNR level (Clerckx & Claude Oestges, 2013).

$$\text{SNR: Low} \quad \mathbf{C}(\mathbf{H}) \xrightarrow{\rho \rightarrow 0} \log_2(1 + \rho \lambda_{max}). \quad (15)$$

Under the above condition, it would be advantageous to transfer power to the deepest part according to the situation in the WF algorithm. Thus, the total power will be transferred to stronger eigenvalues. In other words, the transfer of power to the best sub-channel is realized (Kshetrimayum, 2017).

$$\text{SNR: High} \quad \mathbf{C}(\mathbf{H}) \xrightarrow{\rho \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^r \log_2 \left(1 + \frac{\rho \lambda_i}{r} \right). \quad (16)$$

When the SNR level is high, all power is distributed among the non-zero eigenvalues (Clerckx & Claude Oestges, 2013). This process is carried out equally

3. Comparison of Equal, Max-Min Fairness and Max Product SINR Power Allocations Methods

When the studies in the literature are examined, it is obvious that proposed power allocation algorithms are ineffective that the proposed power allocation algorithms are generally compared with basic methods such as EPA, max-min fairness power allocation, max product SINR power allocation. In this section, a comparison of these three basic power allocation algorithms with each other under the CDF state performance metric of SE per user (bit/s/Hz) is performed by considering uplink transmission for MRC, ZF and MMSE precoding techniques. The expressions of the symbols used in the equations mentioned in this section are shown in Table 1.

Table 1. Expression of symbols

Symbol	Expression
$\rho_{11}, \dots, \rho_{LK_L}$	Uplink transmit power
α_{jk}	Average channel gain
ρ_{ii}	Transmit power of any user
b_{jk}	Average interference gain
γ	SINR for Max-Min fairness power allocation
P_{max}^{DL}	Maximum uplink transmit power
σ_{UL}^2	Noise variance

3.1. Equal Power Allocation

EPA is a method in which the total power is shared equally. Information about the basic analysis of this method is given in the second part.

3.2. Max-Min Fairness Power Allocation

The max-min fairness power allocation technique aims to maximize the worst SINR among all users (Chaves et al., 2020). This method is used for various performance improvements in Massive MIMO systems (C. W. Tan, 2014; Van Chien et al., 2016, 2018; Yang & Marzetta, 2017). The basic mathematical operation of the max-min fairness power allocation method can be written as follows, similar to the work in (Chaves et al., 2020).

$$\max_{\rho_{11} \geq 0, \dots, \rho_{LK} \geq 0, \gamma \geq 0} \min \gamma \quad (17a)$$

$$\frac{\rho_{jk} \alpha_{jk}}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^{K_l} \rho_{li} b_{lij} + \sigma_{UL}^2} \geq \gamma, j = 1, \dots, L, k = 1, \dots, K_j \quad (17b)$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} \rho_{jk} \leq P_{max}^{UL}, j = 1, \dots, L \quad (17c)$$

As a basis, the max-min fairness power allocation algorithm can be applied to the desired performance criterion. There are related studies in the related literature. These studies have been mentioned in the previous sections. The disadvantage of the max-min fairness power allocation algorithm is that although the algorithm focuses on improving the performance of the worst user, it creates a loss in overall network efficiency of the system (Phan et al., 2009).

3.3. Max Product SINR Power Allocation

Max product SINR power allocation algorithm is considered in Massive MIMO systems to increase SE. Because, SE depends on a logarithmic expression of the SINR (Verenzuela et al., 2021). Detailed analyzes of the SE expressions can be examined in the study in (Björnson et al., 2017). The simplest of the power allocation methods is EPA. In addition, there is a max product SINR power allocation method that provides a balance between total SE and fairness (Bana et al., 2019). The aim is to maximize the SINR products of users across system. The mathematical expression of the max product SINR power allocation method can be written as follows, similar to the work in (Verenzuela et al., 2021).

$$\max_{\rho_{11} \geq 0, \dots, \rho_{LK} \geq 0} \prod_{j=1}^L \prod_{k=1}^{K_j} \frac{\rho_{jk} \alpha_{jk}}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^{K_l} \rho_{li} b_{lij} + \sigma_{UL}^2} \quad (18a)$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} \rho_{jk} \leq P_{max}^{UL}, j = 1, \dots, L$$

3.4. Uplink Spectrum Efficiency

Since it is planned to examine the SE in uplink Massive MIMO systems to compare the power allocation methods, this section contains information about the uplink SE expressions. These expressions are not a new equation and detailed analysis can be found in most studies in the literature (Bashar et al., 2019; Dikmen & Kulaç, 2021; Van Chien et al., 2018). Similar to these studies, the uplink SE expression for Massive MIMO can be written as follows, as indicated in (Marzetta et al., 2016).

$$SE_{jk}^{UL} = \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right) \log_2(1 + \text{SINR}_{jk}^{UL}) \text{ [bit/s/Hz]} \quad (19)$$

The τ_c symbol coherence interval is the length of the τ_p pilot sequences (Bana et al., 2019).

3.5. Uplink Transmission

In Massive MIMO uplink transmission, the expression of the received signal in cell l base station j can be written as specified in (Wu et al., 2018).

$$\mathbf{y}_j = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{K_l} \mathbf{h}_{jk}^l s_{lk} + \mathbf{n}_j \quad (20)$$

\mathbf{n}_j is noise with a mean of zero and a variance of σ_{UL}^2 . s_{lk} is the uplink signal for user k in cell l . The expression $\mathbb{E}\{|s_{lk}|^2\} = \rho_{lk}$ is provided, with the strength of this signal ρ_{lk} . The expression in (20) can be arranged as follows, similar to the study in (Bashar et al., 2019).

$$\mathbf{y}_j = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{K_l} \mathbf{h}_{jk}^l s_{lk} + \mathbf{n}_j \quad (21a)$$

$$= \sum_{k=1}^{K_j} \mathbf{h}_{jk}^j s_{jk} + \sum_{l=1, l \neq j}^L \sum_{i=1}^{K_l} \mathbf{h}_{li}^j s_{li} + \mathbf{n}_j \quad (21b)$$

This expression, together with the \mathbf{v}_{jk} combining vector to be used during transmission, is written as follows (Hawej & Shayan, 2019).

$$\mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{y}_j = \mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{h}_{jk}^j s_{jk} + \sum_{i=1, i \neq k}^{K_j} \mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{h}_{ji}^j s_{ji} + \sum_{l=1, l \neq j}^L \sum_{i=1}^{K_l} \mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{h}_{li}^j s_{li} + \mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{n}_j \quad (22)$$

The final expression (22) of the received signal consists of the sum of desired signal, intracellular interference, intercellular interference and noise, respectively. With these results, the SINR expression for the uplink is indicated as follows (Björnson et al., 2017). Detailed evidence of these results can be seen in the references given.

$$SINR_{jk}^{UL} = \frac{\rho_{jk} |\mathbb{E}\{\mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{h}_{jk}^j\}|^2}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^{K_l} \rho_{li} \mathbb{E}\{|\mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{h}_{li}^j|^2\} - \rho_{jk} |\mathbb{E}\{\mathbf{v}_{jk}^H \mathbf{h}_{jk}^j\}|^2 + \sigma_{UL}^2 \mathbb{E}\{\|\mathbf{v}_{jk}\|^2\}} \quad (23)$$

If the result in (23) is substituted in (19), the SE expression for uplink transmission is obtained for Massive MIMO systems.

4. Numerical Results

In this section, a comparison of the power allocation algorithms specified for SE in the uplink transmission mentioned in the previous section is performed. A multi-cell Massive MIMO system is considered and the parameters are given in Table 2. In this part where Monte Carlo simulation results are given, MRC, ZF and MMSE schemes are taken into account for a multi-cell Massive MIMO system. In this system, where the number of cells is considered to be 16, each base station is located in the system center. The number of users in each cell is considered to randomly position as 10. The base station has 100 antennas.

Table 2. Used parameters

Parameter	Value
Number of base station antennas, M	100
Number of users in each cell, K	10
Number of base stations, L	16
Pilot reused factor, <i>f</i>	2
Total transmit power per user, ρ (mW)	100
Length of coherence block, τ_c	200

The CDF of SE per user (bit/s/Hz) is considered as the performance metric used in the simulations. The CDF shows how SE changes depending on random user locations. Some users are in "good" locations and get high spectrum and other users are in "bad" locations and get lower spectrum. Different power allocation algorithms try to construct CDF curves in different ways. For example, the max-min equitable power allocation solution tries to make the curves nearly vertical to limit SE differences between users. Because the goal is to try to make the SE similar for users in good and bad locations.

Figure 2, Figure 3 and Figure 4 show the CDF of SE in a simulation with random distributions of user positions in Massive MIMO system, where the base station has 100 antennas, each cell has 10 users, and the overall number of cells is 16, according to the MRC, ZF, and MMSE diagrams.

When the figures are examined, it can be seen that the best results are provided for the MMSE in total. It is also stated in various studies that this scheme is superior to MRC and ZF (Ngo et al., 2013) and (Björnson et al., 2017). When comparing the remaining two schemes, MRC and ZF, it is understood that ZF is

more effective than MRC, similar to the studies in (Chakraborty et al., 2020). When the figures are examined, the results of the SE CDF at 0.95 and 0.05 for each scheme according to the power allocation algorithms are shown in Table 3, Table 4 and Table 5, respectively. The results for the case where all users are included in the figures.

Table 3. SE Values for MRC

Algorithm	CDF Point	
	0.95	0.05
Maks-Min Fairness Power Allocation	3.867 bit/s/Hz	0.846 bit/s/Hz
Equal Power Allocation	4.687 bit/s/Hz	0.608 bit/s/Hz
Max Product SINR Power Allocation	5.759 bit/s/Hz	0.226 bit/s/Hz

Table 4. SE Values for ZF

Algorithm	CDF Point	
	0.95	0.05
Maks-Min Fairness Power Allocation	5.270 bit/s/Hz	0.967 bit/s/Hz
Equal Power Allocation	6.427 bit/s/Hz	1.078 bit/s/Hz
Max Product SINR Power Allocation	7.821 bit/s/Hz	0.863 bit/s/Hz

Table 5. SE Values for MMSE

Algorithm	CDF Point	
	0.95	0.05
Maks-Min Fairness Power Allocation	5.385 bit/s/Hz	1.147 bit/s/Hz
Equal Power Allocation	6.676 bit/s/Hz	1.238 bit/s/Hz
Max Product SINR Power Allocation	8.077 bit/s/Hz	1.024 bit/s/Hz

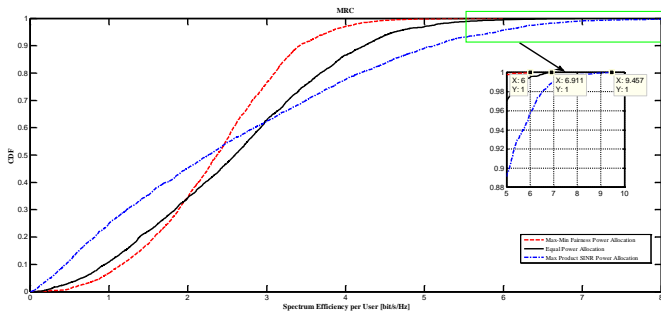


Figure 2. CDF of SE with MRC for M=100, K=10, L= 16

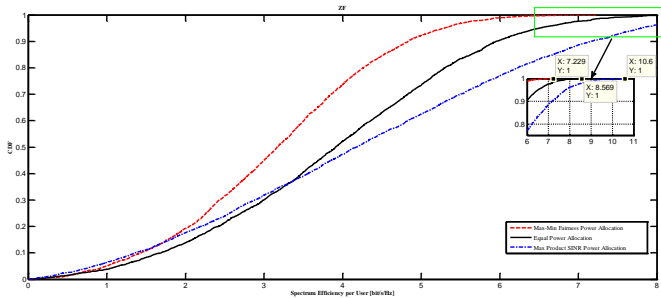


Figure 3. CDF of SE with ZF for M=100, K=10, L= 16

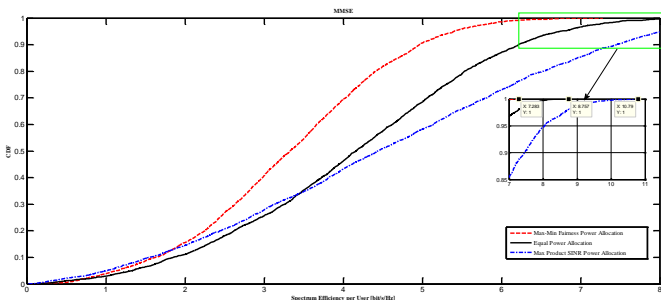


Figure 4. CDF of SE with MMSE for M=100, K=10, L= 16

As can be seen from the figures and tables, in the case of MRC a small percentage of users are better off with max-min fair power allocation. In the other two schemes, although the efficiency of a small percentage of users is better with EPA, max-min fair power allocation is superior to maximum power allocation of SINR products.

When interpreted in terms of power allocation algorithms, it is seen that the max-min fair power allocation algorithm tends to users with less SE due to its working principle. Thus, it is understood that these users are trying to increase SE. This applies to all three schemes. When examined in terms of all users, it is understood that the max product SINR power allocation method gives the best results in all schemes. The EPA algorithm, on the other hand, gives a result between these two in any case. In general, it is observed that the state of the CDF curves for all three power allocation algorithms is affected by the choice of signal detection schemes to consider for the uplink.

When focusing on the graph curves, it is seen that for any scheme other than MRC, if approximately 10 percent of the users have better channels, the SE is higher with EPA. In the case of MRC, although max-min fair power allocation is ahead in this regard, it is understood that the ratios are close to each other. However, as it can be noticed from the tables, in case a small portion of users have good channels, max-min fair power

allocation is at the forefront. If the random location of the users is taken into account and a certain SE value is required for the user at this location, the maximum power allocation method of SINR multiplications is a method that should be preferred.

Briefly, different results in SE of users for uplink are provided by power allocation. When evaluated in general, it has been observed that the maximum of SINR product power allocation algorithm mostly provides high SE. Which power allocation is effective for specific cases can be obtained from the results. In addition, the effect of the signal detection scheme to be used on the results is shown. Thus, the most suitable scheme can be selected.

5. Conclusion

In this study, power allocation strategies for Massive MIMO systems are detailed. With the advancement of next-generation wireless communication technologies, it is critical to enhance spectrum and EE, in particular. For this reason, studies of power allocation algorithms, especially on spectrum and EE, have been taken into account. The purpose of this study is not to explain the technical details of the studies on power allocation algorithms proposed in these studies are performed. Massive MIMO scenarios used by detailing these conditions are also revealed. In addition, performance metrics in these studies, which focus on spectrum and EE, are specified. The techniques used in the creation of the algorithm are detailed. Advantages and disadvantages of the studies are emphasized. Finally, the power allocation algorithms used in the benchmarking are also indicated. It is understood from this review study that there is a lot of work on power allocation algorithms, especially for next generation communication technologies. Since it is known that the Massive MIMO system also plays an important role, the work done for this system is also quite high.

After a general literature review of the power allocation algorithms, the power allocation strategies that are essentially covered in the literature were compared. These algorithms are EPA, max-min fair power allocation and SINR product maximum power allocation algorithm. As far as we know, there is no comparison of these three basic algorithms for the Massive MIMO system considering the SE in uplink transmission. The examination of the SE for the multi-cell Massive MIMO system was carried out in terms of power allocation algorithms. In addition, MRC, ZF and MMSE schemes were taken into account to observe the results according to the signal detection schemes.

In summary, the power allocation algorithms in Massive MIMO systems were examined especially for SE and EE. This study will also fill the gap in the literature regarding this situation. In addition, performing simulations of basic power allocation algorithms under signal detection schemes after a general evaluation is another contribution of this study. We hope it will be an incentive for researchers to study power allocation algorithms.

References

Bana, A.-S., Sanguinetti, L., Carvalho, E. De, & Popovski, P. (2019). Outage Analysis of Downlink URLLC in Massive MIMO systems with Power Allocation. *2019 53rd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, 1394–1398. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF44664.2019.9049046>

- Bashar, M., Cumanan, K., Burr, A. G., Debbah, M., & Ngo, H. Q. (2019). On the uplink max-min SINR of cell-free massive MIMO systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*.
<https://doi.org/10.1109/TWC.2019.2892463>
- Björnson, E., Hoydis, J., & Sanguinetti, L. (2017). Massive MIMO Networks: Spectral, Energy, and Hardware Efficiency. *Foundations and Trends® in Signal Processing*, 11(3–4), 154–655. <https://doi.org/10.1561/20000000093>
- Björnson, E., Larsson, E. G., & Debbah, M. (2016). Massive MIMO for Maximal Spectral Efficiency: How Many Users and Pilots Should Be Allocated? *IEEE Transactions on Wireless Communications*.
<https://doi.org/10.1109/TWC.2015.2488634>
- Boccardi, F., Heath, R. W., Lozano, A., Marzetta, T. L., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 74–80. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736746>
- Chakraborty, S., Demir, O. T., Björnson, E., & Giselsson, P. (2020). Efficient Downlink Power Allocation Algorithms for Cell-Free Massive MIMO Systems. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2(December 2020), 168–186. <https://doi.org/10.1109/ojcoms.2020.3044280>
- Chang Soon Park, & Kwang Bok Lee. (2002). Transmit power allocation for BER performance improvement in multicarrier systems. *The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 5, 2049–2053. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2002.1046504>
- Chaves, R. S., Cetin, E., Lima, M. V. S., & Martins, W. A. (2020). On the Convergence of Max-Min Fairness Power Allocation in Massive MIMO Systems. *IEEE Communications Letters*, 24(12), 2873–2877. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2020.3014942>
- Cheng, R. S., & Verdu, S. (1993). Gaussian multiaccess channels with ISI: capacity region and multiuser water-filling. *IEEE Transactions on Information Theory*, 39(3), 773–785. <https://doi.org/10.1109/18.256487>
- Clerckx, B., & Claude Oestges. (2013). MIMO Wireless Networks. In *MIMO Wireless Networks*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-66925-2>
- Dikmen, O., & Kulac, S. (2019). A new method in pilot reuse factor selection in spectrum efficient massive MIMO systems. *Elektronika Ir Elektrotehnika*.
<https://doi.org/10.5755/j01.eie.25.6.24829>
- Dikmen, O., & Kulaç, S. (2021). Investigation of Ideal Number User Terminals with Spectrum Efficiency in Next Generation Wireless Communication Systems. *Traitement Du Signal*, 38(1), 115–126. <https://doi.org/10.18280/ts.380112>
- Duman, T. M., & Ghayeb, A. (2007). Coding for MIMO Communication Systems. In *Coding for MIMO Communication Systems*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470724347>
- Gandotra, P., & Jha, R. K. (2017). A survey on green communication and security challenges in 5G wireless communication networks. In *Journal of Network and Computer Applications*.
<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.07.002>
- Hawej, M., & Shayan, Y. R. (2019). Evaluation of Massive MU-MIMO Channel Estimation Based on Uplink Achievable-Sum Rate Criteria. *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CCECE.2019.8861846>
- Hu, B., Sun, Q., Wang, J., & Xu, C. (2014). Joint power allocation and antenna selection for energy-efficient OFDM D-MIMO systems. *2014 6th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2014*.
<https://doi.org/10.1109/WCSP.2014.6992152>
- Ivanis, P., & Drajić, D. (2003). Combined optimal power allocation and adaptive modulation for MIMO systems with imperfect CSI. *6th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, 2003. TELSIKS 2003.*, 1, 167–170. <https://doi.org/10.1109/TELSKS.2003.1246208>
- Khalighi, M. A., Brossier, J.-M., Jourdain, G. V., & Raoof, K. (2001). Water filling capacity of Rayleigh MIMO channels. *12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. PIMRC 2001. Proceedings (Cat. No.01TH8598)*, 1, A-155-A-158. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2001.965411>
- Kshetrimayum, R. S. (2017). Fundamentals of MIMO Wireless Communications. In *Fundamentals of MIMO Wireless Communications*. <https://doi.org/10.1017/9781108234993>
- Larsson, E., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. (2014). Massive MIMO for next generation wireless systems. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 186–195. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736761>
- Liu, P., Jin, S., Jiang, T., Zhang, Q., & Matthaiou, M. (2017). Pilot Power Allocation Through User Grouping in Multi-Cell Massive MIMO Systems. *IEEE Transactions on Communications*.
<https://doi.org/10.1109/TCOMM.2016.2645767>
- Marzetta, T. L. (2010). Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9(11), 3590–3600. <https://doi.org/10.1109/TWC.2010.092810.091092>
- Marzetta, T. L., Larsson, E. G., Yang, H., & Ngo, H. Q. (2016). Fundamentals of Massive MIMO. In *Fundamentals of Massive MIMO*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316799895>
- MIMO Systems, Theory and Applications. (2011). In H. Khaleghi Bizaki (Ed.), *MIMO Systems, Theory and Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/610>
- Nezamalhosseini, S. A., & Chen, L. R. (2021). Optimal power allocation for mimo underwater wireless optical communication systems using channel state information at the transmitter. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*.
<https://doi.org/10.1109/JOE.2019.2963551>
- Ngo, H. Q., Larsson, E. G., & Marzetta, T. L. (2013). Energy and spectral efficiency of very large multiuser MIMO systems. *IEEE Transactions on Communications*, 61(4), 1436–1449. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2013.020413.110848>

- Phan, K., Le, L., Vorobyov, S., & Le-Ngoc, T. (2009). Power Allocation and Admission Control in Multiuser Relay Networks via Convex Programming: Centralized and Distributed Schemes. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009(1), 901965. <https://doi.org/10.1155/2009/901965>
- Prayongpun, N., & Raoof, K. (2007). MIMO Channel Capacity with Polarization Diversity and Power Allocation Technique. *2007 IEEE International Conference on Signal Processing and Communications*, 185–188. <https://doi.org/10.1109/ICSPC.2007.4728286>
- Rusek, F., Persson, D., Buon Kiong Lau, Larsson, E. G., Marzetta, T. L., & Tufvesson, F. (2013). Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays. *IEEE Signal Processing Magazine*, 30(1), 40–60. <https://doi.org/10.1109/MSP.2011.2178495>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Tan, C. W. (2014). Wireless network optimization by perron-frobenius theory. *Foundations and Trends in Networking*, 9(2–3), 107–218. <https://doi.org/10.1561/13000000048>
- Tan, F., Chen, H., Zhao, F., & Li, X. (2018). Energy-efficient power allocation for massive MIMO-enabled multi-way AF relay networks with channel aging. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), 206. <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1222-2>
- Van Chien, T., Bjornson, E., & Larsson, E. G. (2016). Joint power allocation and user association optimization for massive MIMO systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. <https://doi.org/10.1109/TWC.2016.2583436>
- Van Chien, T., Bjornson, E., & Larsson, E. G. (2018). Joint pilot design and uplink power allocation in multi-cell massive MIMO systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. <https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2787702>
- Verenzuela, D., Bjornson, E., & Matthaiou, M. (2021). Optimal Per-Antenna ADC Bit Allocation in Correlated and Cell-Free Massive MIMO. *IEEE Transactions on Communications*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2021.3067699>
- Vucetic, B., & Yuan, J. (2003). Space-Time Coding. In *Space-Time Coding*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/047001413X>
- Wang, C.-X., Haider, F., Gao, X., You, X.-H., Yang, Y., Yuan, D., Aggoune, H., Haas, H., Fletcher, S., & Hepsaydir, E. (2014). Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 122–130. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736752>
- Wu, Y., Liu, T., Cao, M., Li, L., & Xu, W. (2018). Pilot contamination reduction in massive MIMO systems based on pilot scheduling. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1029-1>
- Wubben, D., & Lang, Y. (2008). Near-Optimum Power Allocation for Outage Restricted Distributed MIMO Multi-Hop Networks. *IEEE GLOBECOM 2008 - 2008 IEEE Global Telecommunications Conference*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2008.ECP.862>
- Xi Zhang, & Ottersten, B. (2003). Power allocation and bit loading for spatial multiplexing in MIMO systems. *2003 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003. Proceedings. (ICASSP '03).*, 5, V-53–56. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2003.1199866>
- Yang, H., & Marzetta, T. L. (2017). Massive MIMO with Max-Min Power Control in Line-of-Sight Propagation Environment. *IEEE Transactions on Communications*. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2017.2725262>
- Yoshimoto, A., & Hattori, T. (2007). Area Coverage of a Multi-Link MIMO System with Water Filling Power Allocation Strategy. *2007 IEEE 66th Vehicular Technology Conference*, 1137–1141. <https://doi.org/10.1109/VETECONF.2007.246>



Kullanıcı Tabanlı ve Öge Tabanlı İşbirlikçi Filtreleme ile Kümeleme Algoritmalarının Değerlendirilmesi

Mustafa Özgür Cingiz^{1*}, Kadriye Marangoz²

^{1*} Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID:0000-0003-4469-1440),

mustafa.cingiz@btu.edu.tr

² Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID:0000-0003-3667-9150),

kadriyemarangoz@hotmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005391)

ATIF/REFERENCE: Cingiz, M.Ö. & Marangoz, K. (2021). Kullanıcı Tabanlı ve Öge Tabanlı İşbirlikçi Filtreleme ile Kümeleme Algoritmalarının Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 453-458.

Öz

Öneri sistemleri, kullanıcıların memnuniyetini ve bağlılığını artırıp, kullanıcılara kişiselleştirilmiş sistem deneyimini yaşatabilmek için geliştirilmiştir. Öneri sistemleri sayesinde kullanıcılar tercihlerine en uygun olan sonucu en az çaba göstererek bulabilmektedirler. Kullanıcıya özel öneri sistemlerinin önemi son yıllarda giderek artmakta ve filmler, şarkılar, haberler başta olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. Öneri sistemleri hafıza tabanlı ve model tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Model tabanlı filtreleme yaklaşımlarından olan işbirlikçi filtreleme yöntemleri, öneri sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Jester veri seti içerisinde bulunan şakalar kullanıcı tabanlı ve öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemleri ile kümelendi. Sonuçlar Davies–Bouldin İndeksi, Dunn İndeksi ve Silhouette Katsayısı değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaların sonuçlarına göre öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yönteminin kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemine göre daha iyi bir doğruluk sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Öneri Sistemleri, İşbirlikçi Filtreleme, K-ortalama, Hiyerarşik Kümeleme, Spektral Çift Kümeleme.

Evaluation of Clustering Algorithms with User Based and Item Based Collaborative Filtering

Abstract

Recommendation systems have been developed to increase the satisfaction and loyalty of the users and to provide the users with a personalized system experience. Because of recommendation systems, users can find most suitable result for their preferences with least effort. The importance of user-specific recommendation systems has been increasing in recent years and has been applied in various fields, especially movies, songs, and news. Suggestion systems are divided into memory-based and model-based. Collaborative filtering methods, which are model-based filtering approaches, are widely used in recommendation systems. In this study, jokes in jester dataset were clustered with user-based and item-based collaborative filtering methods. The results were compared according to the davies–bouldin index, dunn index and silhouette score. According to the general result of the comparisons, it has been seen that item-based collaborative filtering method provides better accuracy than the user-based collaborative filtering method.

Keywords: Recommender Systems, Collaborative Filtering, K-means, Hierarchical Clustering, Spectral Bi-clustering.

* Mustafa Özgür CİNGİZ: Mustafa Özgür CİNGİZ: Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID:0000-0003-4469-1440) mustafa.cingiz@btu.edu.tr

1. Giriş

Web 2.0 ile birlikte artan verinin oluşturduğu büyük veri havuzu içerisinde, kullanıcıların tercihlerine uygun bir sonucu elle bulması günden güne zorlaşmaktadır. Müzik (Subramaniyaswamy, Logesh, Chandrashekar, Challa, & Vijayakumar, 2017), film (Sánchez-Moreno, ve diğerleri, 2016), seyahat (Krishna, ve diğerleri) gibi birçok alanda kullanılan öneri sistemleri sayesinde, kullanıcılar kendilerine uygun sonuçları otomatik olarak bulabilmektedir.

İşbirlikçi filtreleme sistemleri, içerik tabanlı ve bu iki yapının hibritlenmesiyle oluşmuş hibrit sistemler öneri sistemlerinin temel alanlarıdır. İşbirlikçi filtreleme sistemleri model tabanlı ve hafıza tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Fathan, Adji, & Ferdiana, 2018). Model tabanlı filtreleme yaklaşımı, geçmiş derecelendirmeye dayalı olarak derecelendirme yapmamış kullanıcıların verecekleri dereceleri tahmin etmektedir. Bu yaklaşımdaki ana yöntemlerden biri gizli faktör modelidir ve bu model sayesinde, kullanıcıların derecelendirdikleri öğelerin gizli özellikleri bulunmaktadır (Koren, 2008). Hafıza tabanlı filtreleme yaklaşımı, öğelerin geçmiş davranışlarından ve kullanıcılardan derecelendirmeye yönelik benzerliklerini keşfederek çalışmaktadır. Bu yaklaşım içeriğe ihtiyaç duymadığından karmaşık öğeler üzerinde doğru bir şekilde çalışabilmektedir (Ozkaya & Seyfi, 2021).

Kullanıcı tabanlı ve öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemleri hafıza tabanlı filtreleme yaklaşımının alt başlıklarıdır. Kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yönteminde birbirine benzeyen kullanıcılar ilişkilendirilip kümelenmektedir. Kümedeki kullanıcılara birbirlerinin derecelendirmelerine dayanarak öneride bulunmaktadır. Öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yönteminde öge benzerliği baz alınarak bir ilişkilendirme yapılıp kümelenmektedir. Kümedeki öğelerin derecelendirilmelerine dayanarak öneride bulunmaktadır (Sarwar, Karypsis, & Konstan, 2001). Araştırmalar sonucunda öge tabanlı işbirlikçi filtrelemenin, kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtrelemeden önemli ölçüde daha yüksek bir performans gösterdiği görülmektedir (Raghuwanshi & Pateriya, 2019), (Ponnam, Punyasamudram, Nallagulla, & Yellamati, 2016).

Bu çalışmada hafıza tabanlı filtreleme yöntemlerinin alt başlığı olan kullanıcı tabanlı ve öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, işbirlikçi filtreleme yöntemleri kullanılarak üç farklı kümeleme algoritmasının beş farklı parametre değerlerine göre karşılaştırmalarının yapılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Kümesi

Çalışmamızda Jester veri kümesi (The Goldberg Berkeley, 2021) kullanılmıştır. Jester veri kümesi eksik veriler içeren bir veri kümesi olmakla birlikte eksik verilerin oranına göre üç alt versiyonu bulunmaktadır. Veri setleri toplamda 73.421 kullanıcıdan alınan 100 adet şakayla ilgili anonim

değerlendirmeyi içermektedir. Değerlendirmeler [-10,10] arasındadır. 99 olarak belirtilen değerler eksik veri olduğu anlamına gelmektedir.

2.2. Kullanılan Kümeleme Algoritmaları

2.2.1. K-ortalama

K-ortalama algoritması k değeri küme sayısını veren denetimsiz öğrenme algoritmasıdır K değeri belirlendikten sonra algoritma içerisinde k değeri kadar merkez nokta seçilmektedir. Tek tek veriler ile merkez noktalar arasındaki mesafe hesaplanarak veri için yeni bir en yakın merkez nokta belirlenmekte ve buna göre bir küme atanmaktadır. Bu yeni merkez nokta belirleme işlemi sistem kararlı duruma gelene kadar devam etmektedir (Hatipoğlu, 2021).

2.2.2. Hiyerarşik Kümeleme

Hiyerarşik kümeleme bir kümeleme algoritmasıdır. Parçadan bütüne (agglomerative) ve bütünden parçaya (divisive) olarak iki alt yaklaşımı vardır. Parçadan bütüne yaklaşımında tüm parçalar tek bir küme halindedir. Benzer özelliklere sahip olan kümeler birleşerek yeni bir küme oluşturmaktadır. Süreç sonunda tek bir küme olması amaçlanmaktadır. Bütünden parçaya yaklaşımında başlangıçta tüm veriler tek bir küme halindedir. Uzaklık/benzerlik matrisine göre veriler ana kümeden ayrılıp alt kümelere bölünmektedir. Süreç sonunda her bir veri için bir küme olması amaçlanmaktadır (Veri Bilimi Okulu, 2021).

2.2.3. Spektral Çift Kümeleme

Bu algoritma, girdi veri matrisini gizli bir dama tahtası yapısına sahip olduğunu varsaymaktadır. Bu yapıya sahip bir matrisin satırlarını ve sütunlarını böler, böylece karşılık gelen blok sal sabit dama tahtası matrisi, orijinal matrise iyi bir yaklaşım sağlar. Veriler üretilmekte, ardından karıştırılmakta ve spektral çift kümeleme algoritmasına aktarılmaktadır. Karıştırılmış matrisin satırları ve sütunları, algoritma tarafından bulunan çift kümeleri göstermek için yeniden düzenlenmektedir. Satır ve sütun etiket vektörlerinin dış çarpımı, dama tahtası yapısının bir temsilini göstermektedir (Scikit-Learn, 2021).

2.3. Değerlendirme Yöntemleri

2.3.1. Davies-Bouldin İndeksi

Davies-bouldin indeksi, her kümenin ortalama benzerlik ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Burada benzerlik, küme içi mesafelerin küme arası mesafelere oranıdır. Böylece, birbirinden daha uzak ve daha az dağınık, grup içi varyansı düşük verilerden oluşan, olan kümeler daha iyi bir skorla sonuçlanacaktır. Minimum puan sıfırdır ve daha düşük değerler daha iyi kümelenmeyi göstermektedir (Scikit-Learn, 2021).

2.3.2. Silhouette Katsayısı

Etiket değeri bilinmeyen modellerin değerlendirilmesi için modelin kendisi kullanılmaktadır. Silhouette katsayı puanının

yüksek olması modelin iyi tanımlanmış kümelerle sahip olduğunu göstermektedir. Siluet katsayısı her örnek için tanımlanmaktadır. Her bir örnek ait olduğu kümedeki diğer örneklerle olan uzaklıkları ve diğer kümelerdeki örneklerle olan uzaklıklarına hesaplanarak Silhouette katsayısı değeri belirlenir. En iyi değer 1 ve en kötü değer -1'dir. 0'a yakın değerler, örtüşen kümeleri göstermektedir. Negatif değerler genellikle, bir örneğin yanlış kümeye atandığını göstermektedir (Scikit-Learn, 2021).

2.3.2. Dunn İndeksi

Dunn indeksi, kümelenecek verinin kendisine dayandığı bir iç değerlendirme şemasıdır. Amaç, kümenin üyeleri arasında varyansın düşük olup ve kümeler arası mesafenin fazla olduğu kümelemeleri belirlemektir. Dunn indeksi kümeler arası uzaklığın kümelerin kendi örnekleri arasındaki uzaklığa oranını verdiği için yüksek bir Dunn indeksi, daha iyi kümelenebilirliği göstermektedir (Geeksforgeeks, 2021).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uygulama, öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi ve kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanılan Jester veri seti üç versiyonludur. Versiyonlar arasındaki fark veri setinin içerdiği eksik veri miktarıdır.

3.1. Öge Tabanlı İşbirlikçi Filtreleme Yöntemi

Veri setindeki şakalar öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemine göre öge olarak kabul edilmiştir ve okunan eksik verilerin giderilmesi amacıyla şakalar arasında öklid uzaklığı hesaplanmıştır. Bunu yapabilmek için şaka tabanlı bir süreç olması adına okunan veri setinin transpozunu alınmıştır. Bu sayede satırlarda şakalar sütunlarda kullanıcılar olmuştur. 100x100 boyutlu bir matris otomatik olarak oluşturulup bu matriste her şakanın birbirleriyle olan öklid uzaklığı hesaplanmıştır. Her bir eksik veri için bulunduğu sütundaki en küçük 21 verinin öklid uzaklığının ortalaması alınıp eksik verinin yerine doldurulmuştur. En yakın komşu sayısının 21 seçilmesinin nedeni daha küçük değer seçildiği zaman eksik verileri dolduramıyor olmasındandır. K-ortalama, hiyerarşik kümeleme ve spektral çift kümeleme algoritmalarıyla veri seti kümelenebilir. Kümeleme işleminde seçilen kümeleme sayısı 10,20,30,40,50 olacak şekilde beş farklı değer baz alınmıştır. Kümelemenin değerlendirme parametreleri olarak Davies-Bouldin indeksi, Silhouette katsayısı ve Dunn indeksi metrikleri kullanılmıştır.

Aynı işlemler veri setinin ikinci ve üçüncü versiyonları için de yapılmaktadır. Üç veri seti için de uygulanan bu adımların sonucunda alınan değerler aşağıda Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3 de gösterilmiştir.

Tablo 1: Jester veri seti-1 için öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi sonuçları

Küme sayısı	K-Ortalama			Hiyerarşik Kümeleme			Spektral Çift Kümeleme		
	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi
10	2.33717	0.05119	0.82257	2.38367	0.05999	0.93525	2.87887	0.01310	0.73863
20	1.69847	0.03490	0.79316	1.94184	0.04781	0.93662	2.31734	0.00591	0.61890
30	1.63778	0.02293	0.77198	1.61773	0.04741	0.86372	1.79727	-0.00950	0.56439
40	1.2179	0.02630	0.78287	1.08513	0.04036	0.92065	1.34198	-0.01475	0.56439
50	1.07239	0.79363	0.79363	2.87887	0.01310	0.73863	1.34198	-0.01475	0.56439

Tablo 2: Jester veri seti-2 için öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi sonuçları

Küme sayısı	K-Ortalama			Hiyerarşik Kümeleme			Spektral Çift Kümeleme		
	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi
10	2.64432	0.06853	0.83733	2.62967	0.02934	0.73136	2.74053	0.04474	0.87629
20	1.7758	0.01970	0.86776	1.88854	0.03693	0.86306	2.28793	0.00408	0.84134
30	1.5753	0.02014	0.86790	1.49331	0.03882	0.90653	1.93962	-0.00264	0.64633
40	1.27942	0.01546	0.83194	1.2116	0.03973	0.97273	1.45671	-0.00798	0.80920

50	1.05227	0.01406	0.73536	1.06806	0.03020	0.86228	1.30228	-0.00612	0.68227
----	----------------	---------	---------	----------------	---------	---------	----------------	----------	---------

Tablo 3: Jester veri seti-3 için öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi sonuçları

Küme sayısı	K-Ortalama			Hiyerarşik Kümeleme			Spektral Çift Kümeleme		
	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi
10	0.96040	0.34067	0.82197	1.24758	0.29731	0.90155	1.34634	0.25201	0.74970
20	0.78314	-0.00754	0.63070	0.90240	0.12665	0.83868	1.64119	-0.02300	0.51877
30	0.50017	0.08078	0.98932	0.81551	0.03201	0.74258	1.41302	-0.02103	0.48855
40	0.56069	0.00154	0.84532	0.77384	0.03377	1.00288	1.07396	-0.02028	0.45399
50	0.65489	0.02463	0.91028	0.70664	0.04527	0.98743	1.02661	-0.05022	0.36105

3.2. Kullanıcı Tabanlı İşbirlikçi Filtreleme Yöntemi

Veri setinden sırayla okunan değerlerde eksik veriler vardır ve eksik verilerin giderilmesi amacıyla kullanıcılar arasında öklid uzaklığı hesaplanmıştır. Yaklaşık 25000x25000 boyutlu bir matris otomatik olarak oluşturulup bu matriste her kullanıcının birbirleriyle olan öklid uzaklığı hesaplanmıştır. Her bir eksik veri için bulunduğu sütundaki en küçük 5001 verinin öklid uzaklığının ortalaması alınıp eksik verinin yerine doldurulmuştur. En yakın komşu sayısının 5001 seçilmesinin nedeni daha küçük değer seçildiği zaman eksik verileri

dolduramıyor olmasındandır. K-ortalama, hiyerarşik kümeleme ve spektral çift kümeleme algoritmalarıyla veri seti kümelendi. Kümeleme işlemi, kümeleme sayısı 10,20,30,40,50 olacak şekilde beş farklı kümeleme sayısı baz alınmıştır. Kümelemenin değerlendirme parametreleri olarak Davies-Bouldin indeksi, Silhouette katsayısı ve Dunn indeksi yöntemleri kullanılmıştır.

Aynı işlemler veri setinin ikinci ve üçüncü versiyonları için de yapılmaktadır. Üç veri seti için de uygulanan bu adımların sonucunda alınan değerler aşağıda Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6 de gösterilmiştir.

Tablo 4: Jester veri seti-1 için kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi sonuçları

Küme sayısı	K-Ortalama			Hiyerarşik Kümeleme			Spektral Çift Kümeleme		
	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi
10	3.73459	0.01365	0.83163	4.83862	-0.00727	0.80621	6.49305	-0.03479	0.77610
20	4.11136	-0.00890	0.85825	5.04393	-0.03009	0.80874	7.61757	-0.06367	0.67440
30	4.20946	-0.01113	0.71779	5.20977	-0.03993	0.70955	8.4288	-0.06902	0.71722
40	4.20524	-0.02596	0.77966	5.31518	-0.04486	0.74801	8.81453	-0.07191	0.62088
50	4.2611	-0.03890	0.73774	5.44109	-0.05458	0.73961	9.01735	-0.07771	0.63158

Tablo 5: Jester veri seti-2 için kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi sonuçları

Küme sayısı	K-Ortalama			Hiyerarşik Kümeleme			Spektral Çift Kümeleme		
	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi
10	3.70781	0.02033	0.85424	4.65457	0.00894	0.84597	6.63666	-0.03668	0.73766
20	4.06868	-0.00107	0.83905	5.53483	-0.02151	0.80183	6.76342	-0.06170	0.70024
30	4.21953	-0.01489	0.77388	5.51942	-0.04186	0.77027	8.57485	-0.06856	0.68955
40	4.13174	-0.03056	0.68810	5.32962	-0.05104	0.69953	8.75609	-0.07594	0.65748

50	4.20895	-0.03419	0.70188	5.31809	-0.06058	0.61307	9.37358	-0.07246	0.64144
----	---------	----------	---------	---------	----------	---------	---------	----------	---------

Tablo 6: Jester veri seti-3 için kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi sonuçları

Küme sayısı	K-Ortalama			Hiyerarşik Kümeleme			Spektral Çift Kümeleme		
	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi	Davies-Bouldin İndeksi	Silhouette Katsayısı	Dunn İndeksi
10	2.60751	0.03093	0.72434	3.65457	-0.00694	0.64578	4.38003	-0.01415	0.85595
20	3.06938	-0.02163	0.73936	4.53483	-0.00131	0.60145	5.31581	-0.03068	0.82216
30	3.20693	-0.02489	0.67968	4.51942	-0.02186	0.57085	6.5759	-0.03874	0.75411
40	3.15694	-0.03063	0.58690	4.32962	-0.03254	0.59945	6.12925	-0.04254	0.76712
50	3.36995	-0.03489	0.60228	4.31809	-0.04087	0.51378	6.53782	-0.04850	0.75550

Araştırma sonuçlarına bakıldığında en iyi performansın Jester-3 veri seti üzerinde alındığı görülmektedir. Bunun nedeni Jester-3 veri setinde olan eksik verilerin diğer versiyonlara oranla fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Eksik veriler en yakın komşuların öklid uzaklığı ortalaması baz alınarak doldurulduğunda performans üzerindeki etkisini arttırmaktadır. Yani eksik veri miktarı model performansını etkilemektedir. Öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemine göre seçilen kümeleme algoritmalarından k-ortalama kümeleme algoritması hiyerarşik kümeleme ve spektral çift kümeleme algoritmalarına göre daha iyi bir performans göstermiştir. Ayrıca kümeleme algoritmalarındaki küme sayısını veren parametre değerlerinin artması Davies-Bouldin indeksi ve Dunn indeksine göre performansı artırırken Silhouette katsayısına göre azaltmıştır. Kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemine göre seçilen kümeleme algoritmalarından yine k-ortalama kümeleme algoritması hiyerarşik kümeleme ve spektral çift kümeleme algoritmalarına göre daha iyi bir performans göstermiştir. Ayrıca kümeleme algoritmalarındaki küme sayısı değerlerinin artması tüm değerlendirme sonuçlarına göre performansı azaltmaktadır. Elde edilen bulgular ışığında literatür incelemelerinde olduğu gibi öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yönteminin kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemine göre daha iyi performans elde ettiği görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, verilerin artmasıyla birlikte hayatımızda önemli bir yer tutan öneri sistemlerinin farklı kümeleme algoritmalarıyla değerlendirilmesi üzerine çalışılmıştır. Kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi ve öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemi olmak üzere iki tabanlı bir çalışma yapılmıştır. Kümeleme algoritmaları olarak k-ortalama, hiyerarşik kümeleme ve spektral çift kümeleme seçilmiştir. Kümeleme algoritmalarının sonuçları kümeleme değerlendirme metriklerine göre karşılaştırılmıştır. Öge tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemlerinin kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme yöntemlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Gelecekteki çalışmada mevcut çalışmaya ek olarak matris hesaplamalarını daha basit hale getirip performansı arttırmak için tekil değer ayrışımı (SVD) ile boyut azaltma uygulanacaktır.

Kaynakça

- (2021). Geeksforgeeks: <https://www.geeksforgeeks.org/dunn-index-and-db-index-cluster-validity-indices-set-1/>
- (2021). Scikit-Learn: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.silhouette_score.html
- (2021). Scikit-Learn: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.davies_bouldin_score.html
- (2021). Scikit-Learn: <https://scikit-learn.org/stable/modules/biclustering.html>
- (2021). Veri Bilimi Okulu: <https://www.veribilimiokulu.com/hiyerarşik-kümeleme/>
- (2021). The Goldberg Berkeley: <https://goldberg.berkeley.edu/jester-data/>
- Fathan, G., Adji, T. B., & Ferdiana, R. (2018). Impact of Matrix Factorization and Regularization Hyperparameter on a Recommender System for Movies. *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*.
- Hatipoğlu, E. (2021). The Medium website: <https://medium.com/@ekrem.hatipoglu/machine-learning-clustering-k%C3%BCmeleme-k-means-algorithm-part-13-be33aeef4fc8>
- Koren, Y. (2008). Factorization meets the neighborhood: a multifaceted collaborative filtering model. *Proceeding of the 14th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*.
- Krishna, M. G., Haseeb, M., Siyad, B. M., Zameel, P., Budget, & Raj, S. . Experience Based Travel Planner Using Collaborative Filtering. *2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology (ODICON)*.
- Ponnam, L. T., Punyasamudram, S. D., Nallagulla, S. N., & Yellamati, S. (2016). Movie recommender system using item based collaborative filtering technique. *2016 International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS) (pp. 1-5). IEEE*
- Raghuwanshi, S., & Pateriya, R. (2019). Collaborative Filtering Techniques in Recommendation Systems. *In Data, Engineering and Applications. (pp 11-21). Springer, Singapore*

- Sánchez-Moreno, D., González, A. B., Dolores, M., Vicente, M., Batista, V. F., N., M., & García, M. (2016). A collaborative filtering method for music recommendation using playing coefficients for artists and users. *Expert Systems with Applications*, 66, 234-244
- Sarwar, B., Karypis, G., & Konstan, J. (2001). Item-based Collaborative Filtering Recommendation Algorithms. In *Proceedings of the 10th International World Wide Web Conference on World Wide Web* (pp. 285-295)
- Subramaniaswamy, V., Logesh, R., Chandrashekhar, M., Challa, A., & Vijayakumar, V. (2017). A personalised movie recommendation system based on collaborative filtering. *International Journal of High Performance Computing and Networking*, 10(1-2), 54-6



AdaBoost Ensemble Learning on top of Naive Bayes Algorithm to Discriminate Fake and Genuine News from Social Media

Mehmet Bozuyula^{1*}

^{1*} Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7485-6106), mbozuyula05@posta.pau.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005577)

ATIF/REFERENCE: Bozuyula, M., (2021). AdaBoost Ensemble Learning on top of Naive Bayes Learner to Discriminate Fake and Genuine News from Social Media. *European Journal of Science and Technology*, (28), 459-462.

Abstract

There is a continuous increase in social media usage and a huge interaction takes place between users. In this context, fake news circulation or flood becomes a real thread for social media users from various perspectives. Fake news is defined as presentation of misleading information as true news. In this view, fake news is fabricated news that aims to manipulate public opinion to obtain a benefit. For example, increasing readership for profiting through clickbaits is such an aim. Social media users are manipulated through attention grabbing headlines or web-links to increase number of visitors. Therefore, an automated fake news identification model can be used by social media users to filter inadvertent web-traffic. For this goal machine learning algorithms are used in the literature as a solution for fake news problem. In machine learning literature, advancing performance of the base models is crucial. Ensemble learning is one of the key solutions to enhance model efficiency. In this work, we first generated a set of baseline machine learning algorithms and we tested them in terms of their fake news identification ability. We then made use of ensemble learning strategy to further enhance obtained results. More precisely, we obtained Naive Bayes Multinomial classifier as the best fake news predictor having 96.74 % accuracy. We then further improved this prediction ability to 98.2 % by applying an AdaBoost ensemble learning strategy.

Keywords: Fake News Identification, Ensemble Learning, Machine Learning, Text Mining, Social Media

Naive Bayes Algoritmasının AdaBoost Topluluk Öğrenme Modeli ile Sosyal Medyada Sahte ve Gerçek Haberlerinin Ayırt Edilmesi

Öz

Sosyal medya kullanımında sürekli bir artış yaşanmakta ve kullanıcılar arasında büyük bir etkileşim gerçekleşmektedir. Bu bağlamda yalan haber sirkülasyonu veya yayılımı, sosyal medya kullanıcıları için çeşitli açılardan gerçek bir tehdit haline gelmektedir. Yalan haber, yanıltıcı bilgilerin doğru haber gibi sunulması olarak tanımlanmaktadır. Bu görüşe göre, sahte haber, bir çıkar elde etmek için kamuoyunu manipüle etmeyi amaçlayan uydurma haberlerdir. Örneğin, tıklama tuzakları yoluyla kâr elde etmek için okuyucu sayısını artırmak böyle bir amaçtır. Sosyal medya kullanıcıları, ziyaretçi sayısını artırmak için dikkat çekici başlıklar veya web bağlantıları aracılığıyla manipüle edilmektedir. Bu nedenle, sosyal medya kullanıcıları tarafından yanlışlıkla web trafiğini filtrelemek için otomatik bir sahte haber tanımlama modeli kullanılabilir. Bu amaçla literatürde sahte haber problemine çözüm olarak makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmaktadır. Makine öğrenimi literatüründe, temel modellerin performansını geliştirmek kritik öneme sahiptir. Topluluk öğrenimi, model performansını artırmanın temel çözümlerinden biridir. Bu çalışmada, önce bir dizi temel makine öğrenmesi algoritması oluşturulmuş ve bu algoritmalar sahte haber tanımlama yetenekleri bağlamında test edilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçları daha da geliştirmek için topluluk öğrenme stratejisi kullanılmıştır. Diğer bir ifade ile %96.74 doğrulukla en iyi sahte haber tahmincisi olarak Naive Bayes Multinomial sınıflandırıcısını elde edilmiştir. Daha sonra bir AdaBoost topluluğu öğrenme stratejisi uygulanarak bu tahmin yeteneği daha da geliştirilmiş ve başarı %98,2'ye çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sahte Haber Tespiti, Topluluk Öğrenmesi, Makine Öğrenmesi, Metin Madenciliği, Sosyal Medya.

* Corresponding Author: mbozuyula05@posta.pau.edu.tr

1. Introduction

The usage of social media has become very popular in recent years. While this situation offers many benefits, it also causes some negative situations to occur. The inability to control social media shares and the rapid spread of messages increase the problems that may arise. Fake news is one of the main problems that rise with the increase in social media practice. While this problem has effects on people's living negatively, it extends the solution process and makes the problems permanent.

Fake news researches for different languages have been published in literature. In this context, we will present the most recent literature that makes use of an ensemble learning. Hakak et al. proposed an ensemble classification model which consists of Decision Tree, Random Forest and Extra Tree Classifier for fake news detection. The authors obtained %99.8 training accuracy in fake news prediction (Hakak et al., 2021). In their work, Olaleye et al. used voting ensemble model with Support Vector Machine, Voted Perceptron, RepTree, and Decision Stump algorithms to classify COVID-19 fake news. They achieved 99.93% prediction accuracy with the use of 10-fold cross validation (Olaleye et al., 2021). Das et al. developed an automatic fake-tweet detection system through an ensemble model and they have got 98.31% in terms of F-1 Score (Das et al., 2021). Another study to predict fake-news for COVID-19 dataset is evaluated by Qasem et al. using ensemble learning for Arabic language. The authors obtained 92.63% F1-Score as their best prediction score (Noman Qasem et al., 2021). Bezerra prepared an ensemble model that consists of stylometrics, semantics and linguistic properties that gave a better predictor compared to content-based approaches alone (Ribeiro Bezerra, 2021). In another work, Aslam et al. used LIAR dataset to classify news as real or fake by using an ensemble-based deep learning model. They achieved 91.4% F1-Score from their experiments (Aslam et al., 2021). LekshmiAmmal and Madasamy obtained 88.13% F1-Score by using RoBERTa to predict fake news (Lekshmiammal & Madasamy, 2021). In one another work, Meel and Vishwakarma applied majority voting Ensemble method on fake news identification and they obtained 95.90% accuracy (Meel & Vishwakarma, 2021). Shushkevich and Cardiff created an ensemble model to classify Covid-19 fake news and achieved 94% in terms of F1-Score. The mentioned model contained Naive Bayes, Bidirectional Long Short Term Memory, Support Vector Machine Logistic Regression and Naive Bayes (Shushkevich & Cardiff, 2021). Apart from English there are studies in the literature for languages such as Arabic, Urdu, Turkish, Spanish to identify fake news with the use of use ensemble methods (Akhter et al., 2021; Al-Yahya et al., 2021; Guan, 2021; Onan & Tocoglu, 2020).

In this study, a machine learning model was designed to detect Turkish fake news. Within the scope of the study, a few machine learning algorithms were experimented as baseline. Furthermore, the performance of the baseline algorithms are evaluated with their AdaBoost Ensemble counterparts.

The rest of the paper is as follows: The proposed framework and the experimental setup are explained in Section 2. The experimental results are given in Section 3. The research is ended with conclusion in Section 4.

2. Material and Method

In this section, we explain the proposed AdaBoost ensemble based Turkish fake news detection methodology. Our pipeline

consists of subsections as data generation and the whole experimental setup. We then explained the evaluation and validation metrics. The study is then ended with conclusion.

2.1. Data

The fake news data is obtained from famous fake-news source Zaytung (Github, 2021) and the real news is collected from Hurriyet. The data consists of 2163 fake and 2296 real news totally.

2.2. Experimental Setup

Having obtained dataset, we pre-processed data to extract features in terms of vector space model. In this model the text is encoded with the use of term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) approach (Kadhim, 2019). The encoded text is then used in machine learning train-test pipeline. While developing models, we preferred to use ten-fold cross validation scheme to evaluate the proposed framework.

The experimental setup mainly consists of two steps: i) selection of widely used machine learning algorithms from literature and ii) generation of AdaBoost ensemble counterparts of the algorithms from step (i).

For step one we selected Naïve Bayes (NB), Naïve Bayes Multinomial (NBM), Support Vector Machine (SVM) (Ozkaya, 2020), K-Nearest Neighbour (KNN), J48-tree and Random Forests (RF). We then obtained 10-fold cross validation based accuracies while detecting fake-news.

In step two, we generated AdaBoost ensembles of the algorithms selected and we re-evaluated 10-fold cross validation based performances of the ensembles.

The whole experimental setup is summarized in Figure 1.

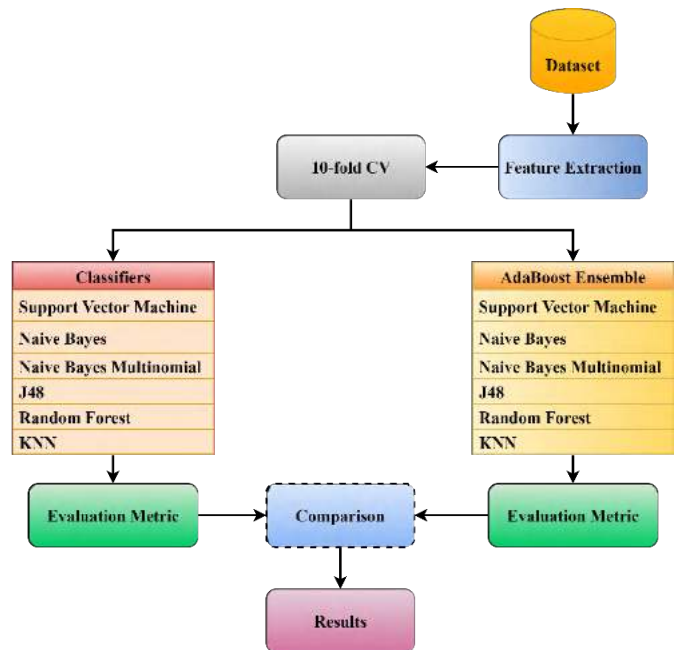


Figure 1. Experimental setup

2.3. Experimental Setup

Any classification comparison is realized with the use of evaluation and validation metrics such as Accuracy (Acc) and Kappa (Kp). For balanced datasets, Acc is calculated as in Equation 1.

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

In Equation 1, while True Positives (TP) and True Negatives (TN) correspond to correct predictions. False Negatives (FN) and False Positives (FP) correspond to incorrect predictions.

One of the statistical validation metric is Kp (Sasikala et al., 2017) and it is calculated with Equation 2. The metric generates values between [0,1] and for a classifier if the experiment generates value of above 0.7 then it is statistically meaningful.

$$K_p = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e} \quad (2)$$

3. Results

In this section, we present the experimental results for the proposed approach in terms of Acc and Kp.

The experimental results of the two approaches are given in Table 1.

Table 1. Experimental results

Algorithms	Classifiers		AdaBoost Ensembles	
	Acc	Kp	Acc	Kp
NB	.889	.779	.979	.957
NBM	.959	.917	.980	.960
SVM	.977	.953	.977	.953
KNN	.612	.204	.612	.204
J48	.917	.833	.955	.910
RF	.937	.875	.937	.874

As Table 1 is inspected in terms of Acc value, we may observe that AdaBoost ensemble of NBM algorithm is superior to remaining predictors. Furthermore, we also notice that AdaBoost ensembles of algorithms are either enhanced or retained their

4. Conclusions

Fake news detection is an essential research topic at the digital age and it becomes more important as the social media usage increases. Since fake news may manipulate the user opinions, determining the source of news is undoubtedly crucial. In this work, we made use of conventional algorithms to detect fake news in Turkish. In order to enhance the obtained results we proposed an AdaBoost ensemble approach. The experimental results show that AdaBoost ensemble learning may boost the performance of the algorithms in terms of classification accuracy. As a research direction, this work may be extended with other ensemble approaches.

References

Akhter, M. P., Zheng, J., Afzal, F., Lin, H., Riaz, S., & Mehmood, A. (2021). Supervised Ensemble Learning Methods Towards Automatically Filtering Urdu Fake News within Social Media. *PeerJ Computer Science*. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.425>

Al-Yahya, M., Al-Khalifa, H., Al-Baity, H., Alsaeed, D., & e-ISSN: 2148-2683

performances in terms of fake news identification. We additionally visualize the mentioned results in Figure 2.

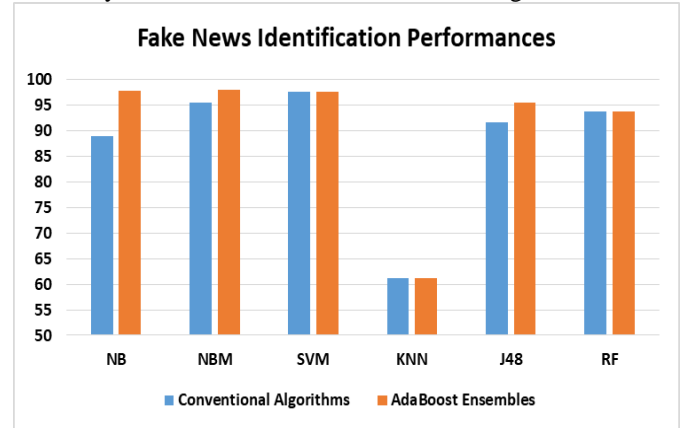


Figure 2. Accuracy of algorithms

We also statistically validate the obtained results with the use of Kp metric from Table 1 and we summarize the given results in Figure 3.

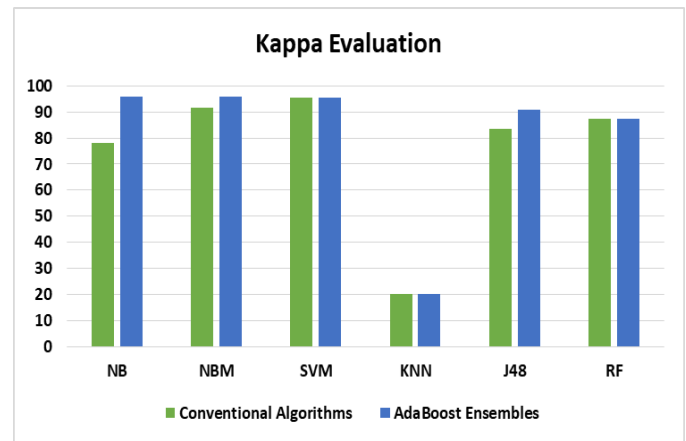


Figure 3. Kappa score of dataset

We can understand from Figure 3 that all classifiers and their ensembles except KNN have values above 0.7. We may conclude that the obtained results are statistically meaningful.

Essam, A. (2021). Arabic Fake News Detection: Comparative Study of Neural Networks and Transformer-Based Approaches. *Complexity*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5516945>

Aslam, N., Ullah Khan, I., Alotaibi, F. S., Aldaej, L. A., & Aldubaikil, A. K. (2021). Fake Detect: A Deep Learning Ensemble Model for Fake News Detection. *Complexity*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5557784>

Das, S. D., Basak, A., & Dutta, S. (2021). A Heuristic-Driven Ensemble Framework for COVID-19 Fake News Detection. *ArXiv Preprint ArXiv: 2101.03545v1*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73696-5_16

Github. (2021). *GitHub - sfkcvk/TurkishFakeNewsDataset: This is the repository of Turkish fake news dataset which consists of Zaytung posts and Hurriyet news articles*. <https://github.com/sfkcvk/TurkishFakeNewsDataset>

Guan, Z. (2021). TSIA team at FakeDeS 2021: Fake News Detection in Spanish Using Multi-Model Ensemble Learning. *Iberian Languages Evaluation Forum (IberLEF 2021)*.

Hakak, S., Alazab, M., Khan, S., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., & Khan, W. Z. (2021). An Ensemble Machine

- Learning Approach through Effective Feature Extraction to Classify Fake News. *Future Generation Computer Systems*, 117, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.11.022>
- Kadhim, A. I. (2019). Term Weighting for Feature Extraction on Twitter: A Comparison between BM25 and TF-IDF. *2019 International Conference on Advanced Science and Engineering, ICOASE 2019*, 124–128. <https://doi.org/10.1109/ICOASE.2019.8723825>
- Lekshmiammal, H. R., & Madasamy, A. K. (2021). NITK_NLP at CheckThat! 2021: Ensemble Transformer Model for Fake News Classification. *Conference and Labs Of the Evaluation Forum (CLEF 2021)*.
- Meel, P., & Vishwakarma, D. K. (2021). HAN, Image Captioning, and Forensics Ensemble Multimodal Fake News Detection. *Information Sciences*, 567, 23–41. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.03.037>
- Noman Qasem, S., Al-Sarem, M., & Saeed, F. (2021). An Ensemble Learning Based Approach for Detecting and Tracking COVID19 Rumors. *Computers, Materials & Continua*, 70(1), 1721–1747. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.018972>
- Olaleye, T. O., Arogundade, O. T., Abayomi-Alli, A., & Adesemowo, A. K. (2021). An Ensemble Predictive Analytics of COVID-19 Infodemic Tweets using Bag of Words. *Data Science for COVID-19*, 365–380. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824536-1.00004-6>
- Onan, A., & Tocoglu, M. A. (2020). Satire identification in Turkish news articles based on ensemble of classifiers. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 28(2), 1086–1106. <https://doi.org/10.3906/elk-1907-11>
- Ribeiro Bezerra, J. F. (2021). Content-Based Fake News Classification through Modified Voting Ensemble. *Journal of Information and Telecommunication*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/24751839.2021.1963912>
- Sasikala, B. S., Biju, V. G., & Prashanth, C. M. (2017). Kappa and accuracy evaluations of machine learning classifiers. *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 20–23. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256551>
- Shushkevich, E., & Cardiff, J. (2021). TUDublin Team at Constraint@AAAI2021 -- COVID19 Fake News Detection. *ArXiv Preprint ArXiv: 2101.05701v1*. <http://arxiv.org/abs/2101.05701>



Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Kümes Ortamına Uygulanması ve Etkileri

Yeliz Durgun

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Turhal Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Tokat, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3834-5533),
yeliz.durgun@gop.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005685)

ATIF/REFERENCE: Durgun, Y. (2021). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Kümes Ortamına Uygulanması ve Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 463-468.

Öz

Son zamanlarda tarım alanında akıllı teknolojilerin kullanımı son derece yaygın bir hal almaya başlamıştır. Dünyada kanatlı hayvanlara olan talebin yükselmeye başlaması ile kümes hayvanı yetiştiriciliğinde de bir artışa yol açmıştır. Bu durum akıllı tarım sistemlerinde olduğu gibi teknolojik sistemlerle donatılmış kapalı kümes hayvancılığında da teknolojinin hızla gelişmesine yardımcı olmuştur. Kanatlı hayvancılık faaliyetleri için kümesler önemli alanlardır. Çünkü hayvanların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli olan barınma ortamıdır. Kümes hayvanlarının optimal şekilde büyümesini sağlayabilmek için kümes içi parametreler olan sıcaklık ve nem miktarı muhafaza edilmelidir. Kümesteki havanın ve çevrenin kalitesi hayvanların hastalığa maruz kalmaması için korunmalıdır. Çünkü kapalı kümes ortamında amonyak mevcut olur. Bu gazlar tavukların hastalanıp ölümlerine yol açmaktadır. Bu ortam değişkenleri genellikle çiftçiler tarafından manuel olarak tahmin edilmektedir. Bu çalışmada kümes ortamının optimal koşullarının izlenmesini ve kontrolünü sağlayan Akıllı Tavuk Kümesi İzleme Sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, Nesnelerin İnternetine elektronik donanımlar NodeMCU mikro denetleyici kullanılarak tasarlanmıştır. Bulut sunucu için Linux işletim sistemine sahip konteyner yapısında yazılımlar kullanılmış ve geliştirilmiştir. Oluşturulan yapı sayesinde tavuk kümeslerinin izlenmesi ve destek sistemlerinin çiftçiler tarafından kolayca yapılabilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Tarım, Kümes Otomasyonu, Nesnelerin İnterneti, Tasmota, Home Assistant.

The Application of the Internet of Things Technology to the Poultry Environment and Its Effects

Abstract

Recently, the use of smart technologies in the field of agriculture has become extremely common. The increase in the demand for poultry in the world has led to an increase in poultry farming. This situation has helped the rapid development of technology in closed poultry farming equipped with technological systems, as well as in smart farming systems. Coops are important areas for poultry farming activities. Because it is the shelter environment that is necessary for animals to continue their vital activities. In order to ensure optimal growth of poultry, the indoor parameters of temperature and humidity must be maintained. The quality of the air and the environment in the house must be maintained so that the animals are not exposed to disease. Because ammonia is present in the closed house environment. These gases cause chickens to get sick and die. These environment variables are usually manually estimated by the farmers. In this study, it is aimed to develop an Intelligent Chicken Coop Monitoring System that monitors and controls the optimal conditions of the poultry house. In this study, electronic equipment for the Internet of Things is designed using NodeMCU microcontroller. For the cloud server, software in container structure with Linux operating system has been used and developed. Thanks to the structure created, it has been ensured that the monitoring of chicken coops and support systems can be made easily by the farmers.

Keywords: Smart Agriculture, Poultry Automation, Internet of Things, Tasmota, Home Assistant.

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde taleplerin artış gösterdiği en hızlı büyüyen endüstriyel faaliyetlerden biriside kanatlı hayvan sektörüdür[1]. Artan nüfusa bağlı gıda talebi bu sektöre olan ilgi kümes hayvanı yetiştiriciliğinde de bir artışa yol açmıştır. Bu durum kümes hayvancılığında verimliliğin artırabilmek için çeşitli teknolojilerin kullanımını da beraberinde getirmektedir[2]. Kümeslerde hayvanların yaşamsal faaliyetlerini iyi bir şekilde sürdürebilmesi ve verimliliğini artırabilmesi için uygun koşullara sahip barınaklarının olması gerekmektedir[3]. Özellikle kümesler yazın güneşin zararlı ışınlarından ve fazla sıcaktan, kışın ise kar ve yağmurdan korunması için dizayn edilerek üretilmiş olmalıdır[4]. Oysa mevcut koşullarda var olan kümesler kendine özgü sorunlar barındırmaktadır. Bu kümeslerdeki sorunların başında, genellikle tavukların buldukları kümeslerde ortam koşullarının optimum olmayan parametrelerden etkilenmesidir. Buna ek olarak kümeslerin bakımı konusundaki hatalar ve ihmallerde tavuk hastalıklarına hatta ölümlerine neden olmaktadır[5]. Kümes hayvan çiftliklerinde genellikle insan emeğiyle manuel olarak çiftlikler izlenmektedir. Bu durum ise çoğunlukla çiftliklerin doğru ve düzgün bir şekilde kontrol edilememesine sebep olmaktadır. Bu sebepten ötürüde kümes hayvancılığındaki verim istenilen düzeyde olmamaktadır.

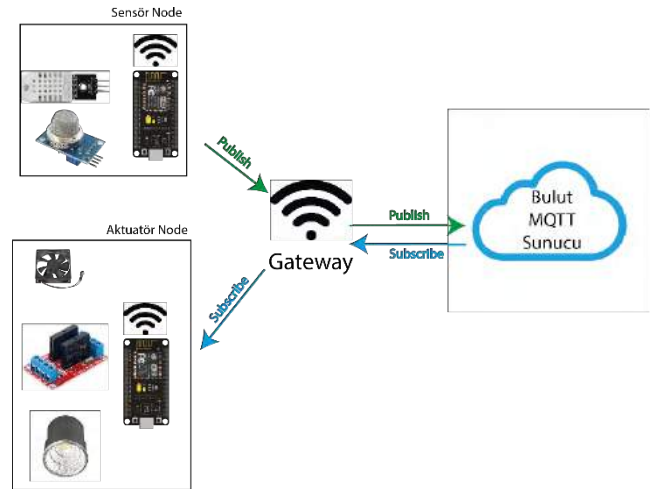
Öte yandan da, tüketicilerin kanatlı hayvan ürünlerine olan talebinin artmasıyla çiftlikte optimum verimliliğe ulaşarak talebin istenilen oranlarda karşılanabilmesi için daha ileri teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni nesil teknolojilerden nesnelerin birbiriyle iletişimi, sensörlerin kullanımıyla verilerin insan emeği olmadan dijital ortamda gerçek zamanlı olarak erişimleriyle kümes içinde optimum koşullar sağlanarak takiplerinin yapılması sağlanabilmektedir[6]. Nesnelerin interneti kümes hayvancılığı sektöründe de aktifleştikçe tavuk çiftliklerinde uygun yaşam alanları sağlanabilir bir hal alacağı için tavukları yaşam standartını artırılmasını sağlayacaktır[7]. Özellikle tavuk çiftliklerinde sıcaklık, nem, amonyak seviyeleri artış veya azalışı tavukları olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır[8]. Uygun olmayan sıcaklık, tavukların üremesini desteklemez. Tavuk yetiştirme ortamındaki yüksek sıcaklıklar, tavukların büyümesini engelleyen ısı stresine neden olabilir. Kümes sıcaklığının yanı sıra, tavuğun büyümesini büyük ölçüde etkileyen bir başka faktör de kümesin hava kalitesidir[9]. Havanın kalitesi içerisindeki gazların azlığı ve çokluğuyla belirlenebilir. Bir altlık tabanı ile karıştırılmış tavuk gübresinin fermantasyon süreci amonyak gazı (NH₃) üretir. Tavuk tarafından üretilen daha fazla gübre, daha fazla amonyak gazı üretir. Amonyak gazı oluşumu, altlığın veya gübrenin sıcaklık, nem, PH ve nitrojen içeriği gibi bazı faktörlerden etkilenecektir. Maruz kalma süresi ile birlikte amonyak konsantrasyonu hem tavuğun hem de çevredeki insanların sağlığını, özellikle de işinin sağlığını etkileyecektir[10]. Kümeslerdeki tavukların bakımı, temizliği düzgün yapılmadığında insanlar ve çevre üzerinde olumsuz etki oluşturabilmektedir. Çünkü günlerce biriken tavuk gübresi miktarı, amonyak, nitratlar, nitritler ve hidrojen sülfid gazı gibi çeşitli gazlar üretecektir. Bu gazların varlığından tavuklar için üretkenliğin azalmasına ve ayrıca insanların solunum problemlerinden etkilenmesine neden olabilmektedir[11]. Yapılan araştırma sonuçlarına göre kümes içindeki yüksek amonyak gazı seviyelerinin tavuğun yüksek ölüm oranlarına yol açabilecek hastalıklara karşı direncini etkilediği göstermektedir[12]. Ayrıca, kümes havasındaki yüksek amonyak konsantrasyonu yem alımını azaltır ve daha sonra büyüme hızını yavaşlatır, yumurta üretimini

düşürür ve solunum fonksiyonunu azaltır. Bu faktörler, bir tavuk çiftliği işletmenin anahtarıdır. Bir tavuk çiftçisi sorunun üstesinden gelinebilirse, üretilen tavukların kalitesi ve miktarı artacaktır. Aynı zamanda kanatlı hayvancılıkta aydınlatmada tavukların gelişiminde önemli parametrelerden birisidir. Yapılan çalışmalarda ışık yayan diyotların (LED) tavukların barınma yerleri olan kümeslerde yeterli miktarda ışığı sağladığında hem enerji tasarrufu yapılarak hem de tavukların üreme potansiyelini artırarak karkasta artışa sebep olduğu görülmüştür[13]. Çalışmamızda tavuk kümesindeki tavukların yaşamsal faaliyetlerini etkileyen çevresel parametreleri belirleyip bu durumların kontrolleri sağlanarak izlenmesini, takip edilmesini ve uzaktan gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesini sağlayarak, tavuğun büyümesini, gelişmesini, bağımsızlığını ve hayatta kalma oranını artırmasına katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sistem Yapısı

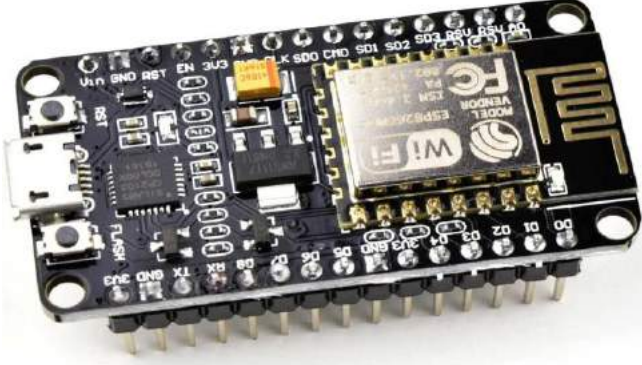
Sistem bir aktuatör node (alt sistem A), bir sensör node sisteminden (alt sistem B), bir bulut docker konteynır sunucusu (alt sistem C) ve bir Android izleme yazılımından (alt sistem D) oluşur. A alt sistemi, otomatik aydınlatma ve fan kontrolünü sağlamak için kullanılır. B alt sistemi, kümes içerisindeki ortam sıcaklığı/nemi ve amonyak seviyesini izlemek için kullanılır. Alt sistem C, kümes ortamı izleme ve kontrolünün yapıldığı yazılım arayüzü ve alt sistem A ile alt sistem B'nin iletişim arayüzünü sağlamaktadır. Alt sistem D, kümes ortamının gerçek zamanlı gösterimi, kontrolü, depolanması ve veri görselleştirmesi için kullanılır. Geliştirilen alt sistem A için sıcaklık dedektörü olarak DHT 22 sensörünü ve amonyak gazı dedektörü olarak MQ-135 sensörleri tercih edilmektedir. Alt sistem B için ayrıca kümesin sıcaklığını ve nemini sabit tutmak için fan ile kontrol edebilmesini sağlanmıştır. Ek olarak iç aydınlatma kontrolüde sisteme dahil edilmiştir. Alt sistem C kısmında bulut sunucu üzerindeki Docker konteynır MQTT broker kullanılarak oluşturulmuştur. Diğer bir konteyner üzerine Homeassistant sistemi yüklenilerek kontrol ve izlem işlemleri yapılmasına olanak sağlanmıştır. Ayrıca alt sistem D sayesinde kullanıcıya bildirim ve kontrol için android mobil cihaz yazılımı üzerinden iletişim sağlanmıştır.



Şekil 1 Sistemin Yapısı

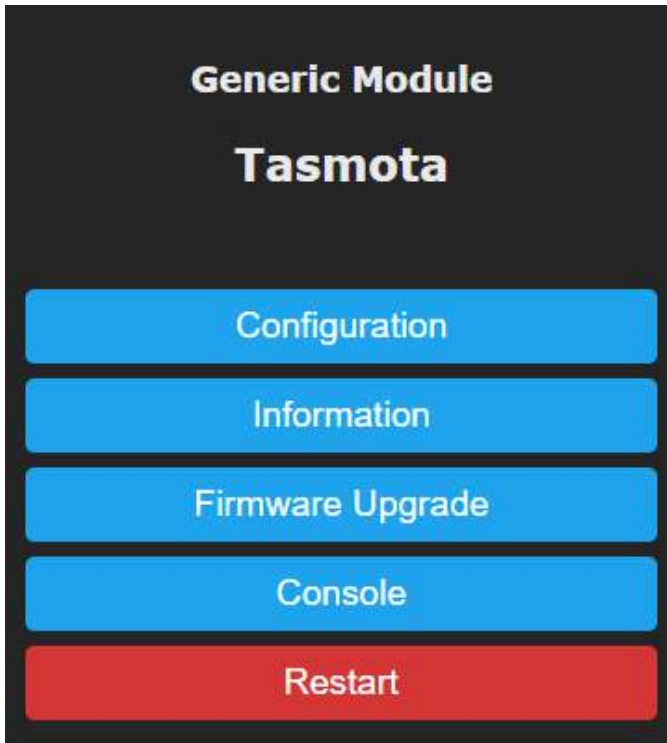
2.2. Donanım Bileşenleri

NodeMCU : NodeMCU, açık kaynaklı bir nesnelerin interneti geliştirme platformudur. Yapısında bulunan ESP8266 kablosuz bütünleşik entegre devre (Wi-Fi System on Chip (SoC)) yapısındadır. Varsayılan olarak "NodeMCU" terimi, geliştirme kitleri yerine yazılımı ifade eder. Fakat biz bu yazılım yerine Tasmota Firmware yazılımını programlayarak IoT altyapısı haline getirilmiştir. Böylelikle çalışmalarımızı çok kolay ve nitelikli hale getirilmiştir[14].



Şekil 2 NodeMCU platformu

Tasmota : ESP8266 Wi-Fi yapısını içeren yerel donanım yazılımı için Theo Arendts tarafından oluşturulan NodeMCU cihazlarına MQTT ve OTA (Over The Air) sağlayan TASMOTA (Theo Arendts Sonoff-MQTT-OTA) adlı açık kaynaklı bir firmwaredir. Bu, her NodeMCU bileşeninin MQTT aracısına ve onunla ilişkili sanal bir cihaza veri göndermesine izin vermektedir. Şu an bu firmware ile, Python ile yazılmış ev otomasyonu için açık kaynaklı bir yazılım olan Home Assistant ile etkileşime girmesine izin verecek şekilde yapılandırılmaktadır[15].



Şekil 3 Tasmota Kontrol Paneli

Home Assistant (HA) : HA (<https://www.home-assistant.io>), Python ile yazılmış Akıllı Evler için satıcıdan bağımsız bir açık kaynak çözümdür. Hatta dağıtım yapmak için bir Docker konteyneri ile birlikte gelir. Çok sayıda açık kaynağın yanı sıra ticari cihazlarla kullanılabilir. Bir çok modül, protokol, servis ve yazılımı desteklemektedir. Home Assistant, bir MIT lisansı altında yayınlanmıştır[16].

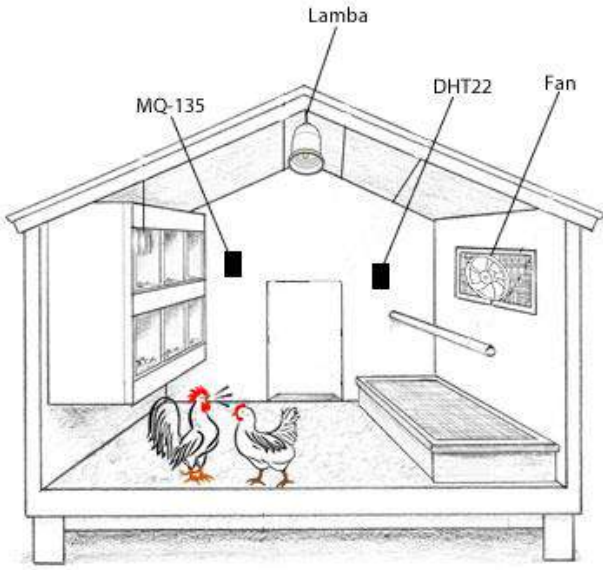
Aktuatör Node : Aydınlatma ve Fan kontrolü için yapılmıştır. Fan ve Aydınlatma için röle modülü kullanılmıştır. Röle, elektrikle çalışan bir anahtardır. Aydınlatma için 220 V ile çalışan 3W led kullanılmıştır. Kümes içerisinde tavana yerleştirilmiştir. Fan olarak 220 V ile çalışan havalandırma fanı kullanılmıştır. Fan küme içerisinde duvara monte edilmiştir.

Sensör Node : Sıcaklık, Nem ve Amonyak takibi için kullanılmıştır. Sıcaklık ve nemi izlemek için DHT22 sensörünü kullanıyoruz. DHT22 sensörü, bir mikro denetleyici kullanılarak daha fazla işlenebilen analog voltaj çıkışına sahip, sıcaklık ve nemi düzenleme işlevi gören bir sensördür. DHT22 modülü, algılama verilerinin kalitesini okuma açısından avantajları olan, sıcaklık ve nemi algılama açısından daha hızlı ve daha hızlı olan sıcaklık ölçüm cihazı gibi çekinik eleman olarak sınıflandırılan bir modüldür. Amonyak seviyesinin belirlenmesi için MQ-135 sensörü kullanılmıştır. Kombine bir gazı algılayan bir gaz sensörüdür. Bu hava kalitesi sensörü, bir güç bankası veya pil aracılığıyla 5 volt ile çalışmaktadır. MQ-135, mikro boyutlu seramik tüp malzemesi (Al₂O₃), hassas bir Tindioxid tabakası (SnO₂), plastik ve çelik dokudan yapılmış kabuk üzerinde sabit bir elektrot ve ısıtma ölçüm sistemi ile yapılmış bir gaz sensörüdür. Bu ısıtıcı, hassas bileşenler üzerinde belirli koşullara göre görev yapar. MQ-135 direnç değeri, gaz konsantrasyonundaki değişikliklerle farklıdır. Bu sensör bileşenini kullanırken hassasiyet kalibrasyonu gerektirir.

Bulut Sunucu : Linux işletim sistemine sahiptir. Linux üzerine Docker konteyner yapısında bulut sunucu oluşturulmuştur. Konteyner yapısı uygulama oluşturma, devreye alma ve yönetmeye yönelik açık kaynak kodlu bir platformdur. İçerisine MQTT protokolü için MQTT broker konteyneri kullanılmıştır. Ek olarak sunucuya Home assistant'ta ayrı bir konteyner olarak yüklenmiştir.

2.3. Deney Düzenegi

Şekil 4'de gösterildiği gibi kümes boyutları yaklaşık 3 mt x 3mt genişliğinde ve 2 mt yüksekliğinde tuğla ile örülü kümes kullanılmıştır. Kümes içerisinde yumurtlama için folluklar, tüneme alanları, havalandırma penceresi ve tabanlık gibi eşyalar bulunmaktadır. Yaklaşık 15 adet tavuk barınmaktadır.



Şekil 4 Kümes düzeni

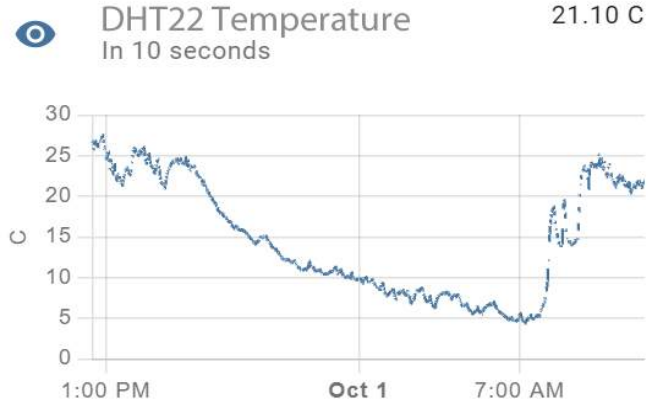
3. Bulgular

Sistem geliştirildikten sonra kümes kurulumu Tokat Turhal ilçesinde bulunan gezen tavuk yetiştiriciliği yapılan bir tesis üzerinde test edilmiştir. Deney, 01 Ekim 2021'de yapılan ölçümler ve uygulamalar sonuçlarda gösterilmiştir.



Şekil 5 Uygulama yapılan kümes

DHT 22 ile yapılan ölçümler yaklaşık 10 sn aralıklarla sonucu üzerine aktarılmıştır. Sıcaklık ölçüme ait sonuçlar şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi 13:00 ile 15:00 aralığında fan açıp kapatma işlemleri yapılarak sıcaklık değişimi sağlanmıştır. Bu işlem sonucunda grafikte görüleceği gibi testere şeklinde olmuştur.



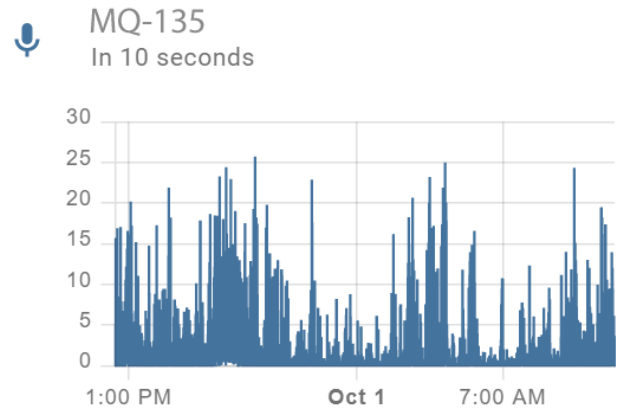
Şekil 6 Sıcaklık verilerine ait çizgi grafiği

Şekil 7'de Kümes içerisi nem değerleri gösterilmektedir. Nem değerleri şekilde görüldüğü gibi 18:00 de hayvanların kümes içerisine girmesiyle nem değerleri yükseldiği, Gün aydınlanması 07:00 ile birlikte hayvanların kümes içerisinden ayrılmasıyla nem değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 7 Nem verilerine ait çizgi grafiği

Şekil 8'de MQ-135 sensörüne ait amonyak değerlerinin ölçümleri gösterilmektedir. Kümes ölçümler ppm olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerlerde 25 ppm max değer olarak alınmıştır. Bu değere ulaştığında kullanıcıya bildirim göndermektedir. Ayrıca fan açılarak içerinin havalandırılması sağlanmıştır. Ortalama amonyak seviyemiz 10 ppm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8 MQ-135 gaz verilerine ait çizgi grafiği

Şekil 9'da kümes içi aydınlatma için kullanılan led kontrol butonu ve ışık miktarı ayarlayacağı gösterilmektedir. Bu sayede ışık kümes içerisinde ne kadar verilmek isteniyorsa o kadar verilebilmektedir. Işık miktarı 0 ile 100 birim aralığında ayarlanabilmektedir.



lamba

Şekil 9 İç aydınlatma kontrol arayüzü

Şekil 10'da Fan için kullanılan röle devresi kontrolü için arayüz butonları gösterilmektedir. Buton açık ve kapalı durumlarına göre geri bildirimli olarak çalışmaktadır. Role2_1 nolu çıkışa fan bağlanmıştır. Diğer Röle çıkışı kullanılmamıştır.



Şekil 10 Fan kontrol arayüz butonları

4. Tartışma

Yapılan çalışmada, kümes içerisinde yerleştirilen sensörler aracılığıyla kümes içi sıcaklığı nemi ve ortam gaz miktarını sensör ağından elde edilen verilerin nesnelere interneti teknolojisi kullanarak yorumlayarak ideal ölçüde kullanılması hedeflenmiştir. Amaç ortamın hava kalitesini kontrol etmek ve sıcaklığın nemi izlenerek ideal koşulların dışına çıkıldığında fan gibi gerekli sistemlerin nesnelere interneti teknolojisi kullanarak devreye girmesidir. Bu doğrultuda çalışmanın ilk çıktısı olarak akıllı kümes izleme sisteminin kontrol merkezi olan destekli gömülü sistemin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında laboratuvar ortamında geliştirilen gömülü sistemin çalışması test edilmiştir. Bu çalışmada ki bulgular gösterilmiştir; fakat bu sonuçların yapay zekâ desteği ile belirlenmesi sisteme dahil edilmesi planlanmaktadır. Sadece sistemin birlikte çalışabilirliği, sürekliliği ve hata oluşmama durumları test edilmiştir. Şekil 6-7-8'de görüleceği üzere hatalı, fazla ve yanlış ölçüm gibi değerler bulunmamaktadır. Devre elemanlarında çalışmama veya veri eksikliği tespit edilmemiştir. Bunun sonucunda sistemin kararlı bir biçimde çalıştığı gösterilmiştir.

Tavuk kümesindeki ortam değişkenleri olan sıcaklık, nem ve amonyak miktarı sensörler aracılığı ile veriler elde edilmiştir. Bunun yanı sıra gerçek zamanlı olarak ısıtma cihazları, nemlendirme cihazları ve havalandırma cihazlarında kontrol edilebilmesi gelecekte yapılabilecektir. Kablosuz ağ topolojisi oluşturularak tüm birimleri birbirine bağlaması yardımcı olacaktır. Bu durum ise kablolu seviyesini en aza indirilecektir. Oluşturulan bulut yapı sayesinde hem sensörler hem de cihazlar kendi aralarında haberleşerek gelen veri ile kümes içi hava kalitesinin ölçülmesi ve izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda nesnelere interneti yardımıyla sıcaklık, nem, miktarları takip edilerek sıcaklığın nemi arttığı durumlarda fan sistemleri devreye girmiştir.

Bu aşamadan itibaren ölçüm değerlerine veya belirlenen aralığa göre aktuatörlerin aktifleşmesine alternatif olarak yapay zeka algoritmalarıyla çalıştırılması planlanmaktadır. Bununla birlikte alınan çok miktarda verilerin değerlendirilerek yine yapay zeka yardımı ile anlamlı veri haline getirilmesi planlanmaktadır.

5. Sonuçlar

Kümes hayvan yetiştiricilerin sorun olarak gördüğü ve çözümlenmesi istediği dört temel problem mevcuttur. Bu problemler için çözümler geliştirilmiştir. İlk olarak kümes ortamının sıcaklık ve neminin anlık olarak ölçümlerini takip edebilen sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde yer alan sensörlerle düzenli olarak ortamın sıcaklığı ve nemi kontrol edilmiştir. Böylece iyi çalışan bir sistem oluşturulmuştur. İkinci olarak bu sıcaklık ve nem parametrelerini kontrol eden bir düzenli sistem ve fan sistemi geliştirilmiştir. Böylece kümes hayvanları sahipleri her an gerçek zamanlı olarak kümesin sıcaklık ve nemi uzaktan izleyebilecektir. Uygun olmayan sıcak ortam veya nemli koşullarda sistemde fan otomatik olarak çalışarak ortamın nemini ve sıcaklığını ideal koşullarda tutulması sağlanmıştır. Dolayısıyla kullandığımız tüm sensör ve fanlar iyi bir şekilde çalışmıştır. Üçüncü olarak öncesinde kümes hayvan sahipleri sıcaklığın ve nemi kontrolünü sağlayabilmek için çok sayıda işçi kullanmaktaydı. Bu sistem sayesinde çiftçiler, tüm süreçleri kendileri otomatik olarak kontrol edilebildiği için işçi kullanımını azaltabilecektir. Son olarak nesnelere interneti kullanarak sıcaklık, nem ve ortamdaki gazları izleyebilen bir sistem oluşturabilmiştir. Bu projede akıllı ev otomasyon sistemi olan Home assistan platformuna kümes kontrol işlemleri ilk kez eklenmiştir. Bu platformun kullanımı ile kümes hayvan sahipleri, nerede olurlarsa olsunlar, Akıllı Telefonlar veya Kişisel bilgisayarlar gibi cihazlar aracılığıyla tüm okumaları izleyebilecek ve kontrol edebileceklerdir. Yaptığımız çalışmada nesnelere interneti kullanarak tavuk kümeslerinin hava kalitesini izlenmesine olanak sağlayarak yenilikçi bir çözüm sunulmuştur. Nesnelere interneti tabanlı mikrodenetleyicideki teknolojik gelişmeler internet üzerinden iletişimde kolaylık sağlayacaktır. Çalışmada kullanılan bu teknoloji, internet bağlantısına bağlı olduğu sürece her zaman ve her yerde kontrol edilebilecektir.

Kaynakça

- [1] P. O. Ayoola, "Development of A Policy Framework for the Growth of Biogas Technology using Poultry Droppings", *Int. J. Eng. Res. And, V9*, c. 3, ss. 314–319, 2020.
- [2] G. Corkery, S. Ward, C. Kenny, ve P. Hemmingway, "Incorporating Smart Sensing Technologies into the Poultry Industry", *J. World's Poult. Res.*, c. 3, sayı 4, ss. 106–128, 2013.
- [3] Y. Liani, I. Munthe, ... D. I.-2021 3rd, ve undefined 2021, "The Broiler Chicken Coop Temperature Monitoring Use Fuzzy Logic and LoRAWAN", *ieeexplore.ieee.org*.
- [4] R. Ramadiani, D. Widada, M. Widiastuti, ve M. Jundillah, "Temperature and humidity control system for broiler chicken coops", *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, c. 22, sayı 3, ss. 1327–1333, 2021.
- [5] D. E.-G. Bellolio, C. Davis, ve M. Ely, "Chicken Coop Cleaner Prototype: 'Pooper-Picker-Upper'", 2021.
- [6] P. Adinegoro, M. H. Habbani, R. A. Karimah, ve Y. A. Laksono, "The Design of A Telegram IoT-based Chicken Coop Monitoring and Controlling System", *JPSE (Journal Phys. Sci. Eng.*, c. 5, sayı 2, ss. 56–65, 2020.
- [7] R. D. M. Nicolas, W. S. Zhou, S. C. Kitamura, ve M. J. C. Samonte, "An IoT Monitoring Assistant for Chicken Layer Farms", içinde *2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 2019, ss. 71–75.
- [8] A. A. Swelum vd., "Ammonia emissions in poultry houses and microbial nitrification as a promising reduction strategy", *Sci. Total Environ.*, s. 146978, 2021.
- [9] H. Supriyono, U. Bimantoro, ve K. Harismah, "Design, Construction and Testing of Portable Systems for Temperature, Humidity and Ammonia Monitoring of Chicken Coop", içinde *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, c. 771, sayı 1.
- [10] H. H. Kristensen ve C. M. Wathes, "Ammonia and poultry welfare: a review", *Worlds. Poult. Sci. J.*, c. 56, sayı 3, ss. 235–245, 2000.
- [11] K. J. Donham, D. Cumro, S. J. Reynolds, ve J. A. Merchant, "Dose-response relationships between occupational aerosol exposures and cross-shift declines of lung function in poultry workers:: recommendations for exposure limits", *J. Occup. Environ. Med.*, c. 42, sayı 3, ss. 260–269, 2000.
- [12] P. Bhadauria, J. M. Kataria, S. Majumdar, ve S. K. Bhanja, "Impact of hot climate on poultry production system-a review", 2014.
- [13] J. C. Huth ve G. S. Archer, "Comparison of two LED light bulbs to a dimmable CFL and their effects on broiler chicken growth, stress, and fear", *Poult. Sci.*, c. 94, sayı 9, ss. 2027–2036, 2015.
- [14] U. Ozkaya, Ş. Öztürk, K. Tuna, L. Seyfi ve B. Akdemir, "Faults Detection With Image Processing Methods In Textile Sector", içinde *2018 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*.
- [15] "News - Tasmota". [Çevrimiçi]. Available at: <https://tasmota.github.io/docs/>. [Erişim: 04-Eki-2021].

[16] "Home Assistant". [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.home-assistant.io/>. [Erişim: 21-Mar-2021].



Numerical Investigation of Aerodynamic Properties of Ahmed Body for Different Rear Slanted Surface Configurations

Cafer Kamacı^{1*}, Kenan Kaya¹

^{1*} Istanbul Aydin University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1083-2444), caferkamaci@stu.aydin.edu.tr

¹ Istanbul Aydin University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6897-4077), kenankaya@aydin.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005846)

ATIF/REFERENCE: Kamacı, C. & Kaya, K. (2021). Numerical Investigation of Aerodynamic Properties of Ahmed Body for Different Rear Slanted Surface Configurations. *European Journal of Science and Technology*, (28), 469-475.

Abstract

The present study investigates aerodynamic characteristics of the Ahmed Body numerically, in case of that small rectangular flaps are attached to the leading edge of the rear slanted surface with a rear tilt angle of 25° and 35°. Numerical calculations have been conducted for three-dimensional, turbulent, steady, incompressible flow. Three different flap configurations have been considered: single flap, two flaps and three flaps. The commercial computational fluid dynamics solver ANSYS Fluent is used for the computations. To validate the numerical model, numerical solutions have been conducted with different combinations of turbulence model and wall functions, considering the values of drag coefficient obtained in a previous experimental work which studied slanted surface with flaps attached. Accordingly, k-epsilon Realizable turbulence model with Menter-Lechner wall function estimates the drag coefficient with an error of 8.8%. Results of the numerical calculations have shown that the best performance is obtained for the Ahmed model with 25° rear slant angle with three flaps mounted on the leading edge of the rear slanted surface, which provides a reduction in drag coefficient by 2.3%, compared to the model without flaps. Mechanisms for drag reduction are found to rely on generating a suction line along the leading edge of the rear slanted surface, which provides attached flow, although it is reversed. As for the 35° Ahmed model with flaps, on the other hand, no decrease in the drag coefficient is observed.

Keywords: Flap, Passive flow control, Computational fluid dynamics, Turbulent flow, Drag coefficient, Aerodynamics.

Farklı Arka Yüzey Konfigürasyonları İçin Ahmed Gövdesinin Aerodinamik Özelliklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada 25° ve 35°'lik arka eğim açısına sahip Ahmed gövdesinin arka eğimli yüzeyinin hücum kenarı üzerine dikdörtgen kanatlar eklenmiş ve bu geometrik model kullanılarak üç boyutlu, türbülanslı, daimî, sıkıştırılamaz akış için sayısal çözümler yapılmıştır. Tek, iki ve üç kanat olmak üzere üç farklı konfigürasyon göz önüne alınmıştır. Sayısal çözümler ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücüsü ANSYS Fluent kullanılarak yapılmıştır. Sayısal modelin doğrulanması amacıyla, daha önce yapılmış bir deneysel çalışmanın sonuçları referans alınarak farklı türbülans modeli ve duvar fonksiyonu kombinasyonları ile sayısal çözümler yapılmıştır. Buna göre %8.8'lik hata ile k-epsilon Realizable türbülans modeli ve Menter-Lechner duvar fonksiyonu kombinasyonunun deneysel sonuçlara en yakın sonucu verdiği görülmüştür. Sayısal çözüm sonuçları, en iyi performansın kanatsız modele göre sürüklenme katsayısında 2.3% oranında düşüşün sağlandığı, arka eğim açısı 25° olan üç kanatlı Ahmed modeli için elde edildiğini göstermiştir. Sürüklenme katsayısı düşürme mekanizmalarının, arka yüzeyin hücum kenarı üzerinde bir emiş hattı oluşmasına ve ters yönlü olduğu halde akımın arka yüzeye tutunmasına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, arka eğim açısı 35° olan kanatlı Ahmed modeli için ise sürüklenme katsayısında herhangi bir azalma görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kanat, Pasif akış kontrolü, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Türbülanslı akış, Sürüklenme katsayısı, Aerodinamik.

* Corresponding Author: caferkamaci@stu.aydin.edu.tr

1. Introduction

Sixty percent of total energy consumed by a land vehicle cruising with an average speed is used to overcome the drag resistance [1]. For this reason, many scientific studies have been carried out to reduce fuel consumption, improve exhaust emissions and reduce noise in vehicles by improving aerodynamic designs. According to a study conducted in the United States, it has been determined that an improvement in the aerodynamic drag force of vehicles by 12% will save approximately 12 million m^3 of fuel, and 28 million tons less exhaust gas is produced [2].

Most aerodynamic problems are too complex to be solved analytically, and therefore rely on correlations based on empirical data. However, obtaining empirical data is a very expensive and time-consuming way. For this reason, thanks to the fast computers developed owing to recent technological improvements, it has made it possible to perform time-consuming and expensive tests of the design at the last stage, i. e., in wind tunnels, by solving the equations governing a particular physical problem numerically and performing several calculations quickly.

Ahmed body is a simplified model [3] used to understand vehicle aerodynamics in experimental and numerical studies. Siddiqui and Chaab [4] analyzed the SST k- ω turbulence model by mounting an adjustable rectangular flap with angles between 0° and 25° , on the leading edge of the slanted surface of Ahmed model with a slant angle of 35° , using FLUENT software for Reynolds number of 7.8×10^5 . They found that a reduction by 14% in drag coefficient is obtained at most, for a flap angle of 10° . Delassaux et al. [5] conducted a comparative study using the original Ahmed model with a rear tilt angle of 25° and SST-based RANS and hybrid turbulence models for the rear slanted surface with rounded edges. As a result, they stated that the flow around the sharp-edged model can be solved more accurately with hybrid models. Hanfeng et al. [6] took two Ahmed models with rear slant angles of 25° and 35° as a reference and mounted large and small flaps on the rear slanted surface of the Ahmed model with 25° rear slant angle, for Reynolds number of 4.29×10^6 . They found that the flap added to the side edge of the rear slanted surface weakened the longitudinal eddies and there was a reduction by 21.2% in the drag coefficient at a flap angle of 80° , and 17.9% for both large and small flaps at 40° and 20° angles. For the 35° Ahmed model, they observed a reduction by 6% in drag coefficient at 30° of the large flaps on the top of the vehicle and at 80° in the large flap configuration on the side. McNally et al. [7] tried to minimize the pressure difference between the front and rear of the vehicle by applying micro jet arrays to the rear slanted surface of the 25° Ahmed reference model. Micro-jets applied on the side edges of the slanted surface, the rear upper surface and the rear lower surface detected a slight increase in pressure of 1% and 7% at the rear of the vehicle. Tsai et al. [8] examined the flow around a vehicle model similar to the Ahmed model numerically, as they used the k- ϵ and Large Eddy Simulation (LES) turbulence model. Kurec et al. [9] investigated the low and high angles of attack of the rear wing attached to an automobile in their study. They examined how an air brake mounted on different locations affects the stability of the car, and the load distribution on the front and rear axles. According to the data collected in the wind tunnel experiments, they determined how effective the aerodynamic properties are on an automobile braking maneuver. In addition, they showed how the rear wing element of the automobile can be used to increase the drag force along with the downforce that can affect the air flow around the automobile. Han et al. [10] designed

a shape memory composite material reinforced with glass fiber and alloy wire and a woven type of smart soft composite and applied it to the rear spoiler of a vehicle at a ratio of 1/8 scale and to determine the aerodynamic performance measures of the vehicle in a wind tunnel at various wind speeds, for different operating conditions and angles of attack. They observed that the drag coefficient increases by approximately 41% while the downforce increases by 198% during the operation of the spoiler. Yuan et al. [11] conducted a numerical study for the Ahmed model with a flap added to its rear slanted surface and concluded that the aerodynamic lift force decreases approximately linearly with the angle of inclination of the flap, accompanied by an increase in the drag force. Altaf et al. [12] used several elliptical flaps to reduce the drag coefficient for a simplified truck model. The optimum angle of the elliptical flap is found to be 50° which yields a reduction of 11% in drag coefficient. Humnic et al. [13] studied the Ahmed model of 35° rear tilt angle with a 7° slope on the lower rear part, so that the rear part resembles a venturi nozzle. There was no difference aerodynamically in the lower front part, however, variation in pressure was observed in the curved front lower part of the vehicle. Mohammadikalakoo et al. [14] moved the air stream on the side walls of the vehicle to the rear parts of the vehicle by means of pipes for Ahmed models of 25° , 30° and 35° rear slant angle, thus minimizing the pressure difference between the rear and front parts of the vehicle. In the experiments, they obtained a drag reduction of 2-5% in the different configurations for free stream velocities of 10, 20 and 30 m/s, and they found the best drag reduction as 5.07% at 30 m/s speed with the 35° Ahmed model. In their numerical study, Buscariolo et al. [15] mounted a diffuser on the rear part of the Ahmed model with rear slant angle of 25° and 0° , for diffuser angles varying between 0° and 50° . They obtained maximum compression force with a diffuser angle of 10° in the 25° Ahmed model. Kashyap et al. [16] aimed to reduce drag by creating spherical depressions with a diameter of 60 mm and 90 mm, and they achieved a maximum reduction of 6% in the drag coefficient with a spherical depression at a vehicle speed of 28 m/s and an aspect ratio of 4. Shadmani et al. [17] used an active flow control method to control the rear slant angle and the flow in the rear slanted section with the help of a plasma actuator in the 25° Ahmed model, and the drag force decreased by about 2% at 20 m/s speed. Bayındırlı et al. [18] found that 13.38% of the drag force was caused by friction, while 86.42% of the drag force was caused by pressure, in a study they conducted on a vehicle model of Ahmed Body model with four different Reynolds numbers. As a passive flow control device added in front of the model, an aerodynamic improvement of 5.37% was achieved in the calculations conducted for four different Reynolds numbers between 173 000 and 346 000. Zafer and Haskaraman [19] carried out numerical computations for two different Ahmed models with slant angles of 25° and 35° , using realizable k- ϵ turbulence model for 2.8×10^6 Reynolds number under front and side wind conditions. As a result, they determined that the width of the wake region, in which two asymmetrical vortices rotate in the opposite direction with each other in the wake of the vehicle, decreases by 60-70% due to the lateral wind and the leading wind conditions. Bayındırlı and Çelik [20] investigated the effects on friction force for five different Reynolds numbers with a spoiler model with one or two different sizes added to a vehicle model like Ahmed Body. They achieved aerodynamic improvement of 4.96% and 5.27%, respectively, for spoilers with different heights. Aider and Beaudoin [21] investigated the Ahmed model while they attached adjustable flaps on each side of the rear slanted surface and the rear vertical base. PIV measurements showed that the best efficiency was

obtained for flaps mounted on the side edges of the rear slanted surface.

In the present study, effect of a novel passive flow control method on the aerodynamic properties of Ahmed body is investigated numerically, where small flaps are mounted on the leading edge of the rear slanted surface of the original Ahmed model, for 25° and 35° rear slant angles.

2. Material and Method

2.1. Model Geometry

Being a generic model vehicle with a relatively simple geometry and adjustable rear tilt angle, Ahmed model has been employed in many studies on vehicle aerodynamics, allowing to analyze the aerodynamic phenomena around the a vehicle without any geometric complexity of a standard vehicle used in real life [22]. The model geometry and its dimensions are shown in Fig. 1, where length and width of the model is $L = 1044$ mm, and $W = 389$ mm, respectively. In the present study, small flaps are mounted to the original Ahmed model in three different configurations (Fig. 2), for slant angles of 25° and 35°. Width ratio is $w/W = 0.2$ for all cases, where w and W are width of the flaps and Ahmed model, respectively.

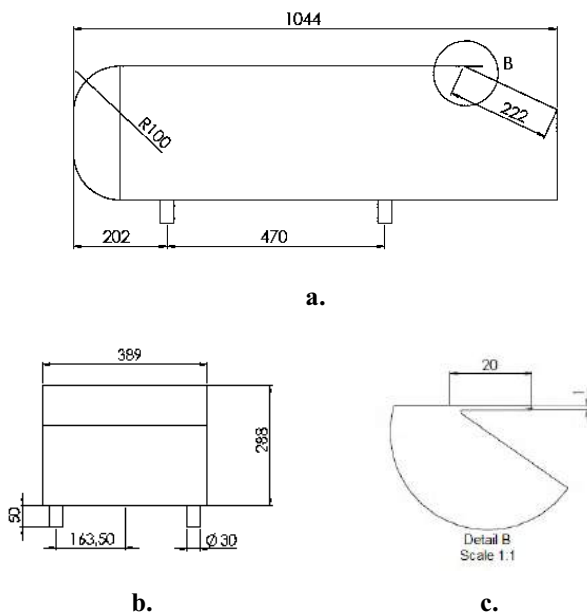


Figure 1. Model geometry used in the present study: a) side view, b) back view, and c) detail view of the flap

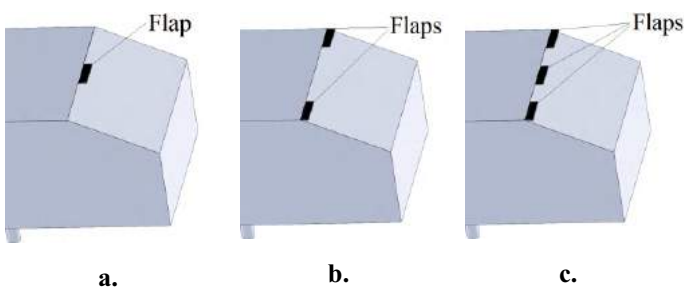


Figure 2. Illustration of passive flow control device for a) single-flap, b) two-flap, and c) three-flap models

2.2. Numerical Method

In the present study, numerical calculations are carried out for three-dimensional, incompressible, steady turbulent air flow; using a commercial solver, ANSYS *Fluent*, version 19.2. Fig. 3 shows the solution domain and boundary conditions employed in the numerical calculations. Velocity inlet boundary condition is assigned to the inlet where a uniform velocity profile is defined with a constant velocity. At the outlet, pressure outlet boundary condition is employed, as static pressure is fixed at zero gauge. Only half of the physical domain is considered in the numerical calculations, assuming that mean flow structures are symmetrical about the longitudinal mid-plane, where symmetry boundary condition is applied. The top and side surfaces of the domain are also defined as boundaries of symmetry, assuming that gradients of all variables are zero. Surfaces of Ahmed body and ground are defined as no-slip walls, where both normal and tangential components of velocity are set as zero.

Dimensions of the numerical solution domain are $6.5L \times 1.5L \times 1.5L$ (length x width x height), where L denotes length of Ahmed body. Distance between the front of the vehicle and the inlet boundary is $0.5L$, while that between the rear of the vehicle and the outlet is $5L$. The blockage ratio is 3.7%, which is recommended to be less than 7.5% [23].

Results of a previous experimental study conducted by Aider and Beaudoin [21] are used to validate the numerical model, employing meshes with 2.4, 4.7 and 8.3 million elements. Accordingly, k -epsilon Realizable turbulence model with Menter-Lechner wall function estimates the drag coefficient with an error of 8.8%. Numerical calculations are repeated for different pairs of turbulence model and wall function by using a mesh with 4.7 million elements, at which mesh independence is achieved. The numerical grid generated for the numerical calculations is shown in Fig. 4, as prismatic elements are located near solid walls, to be able to resolve the boundary layer. Also, a finer mesh is generated in the wake of Ahmed body. It is determined that the turbulence model that yields the closest value of drag coefficient to that of the experimental study is the k -epsilon Realizable turbulence model with Menter-Lechner wall function, which are adopted for all the numerical calculations in the present study. The SIMPLE algorithm is used for pressure-velocity coupling. Convective terms in the momentum and turbulence equations are discretized with second-order upwind scheme. Discretization of the pressure term is also achieved using a second-order accurate method. All the numerical calculations converged after 5000 iterations. Solutions are obtained for a free stream velocity of 40 m/s at the inlet, which corresponds to a Reynolds number of $Re = 2.6 \times 10^6$, based on length of Ahmed body, L .

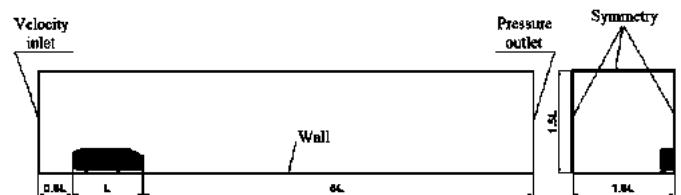


Figure 3. The numerical solution domain and boundary conditions

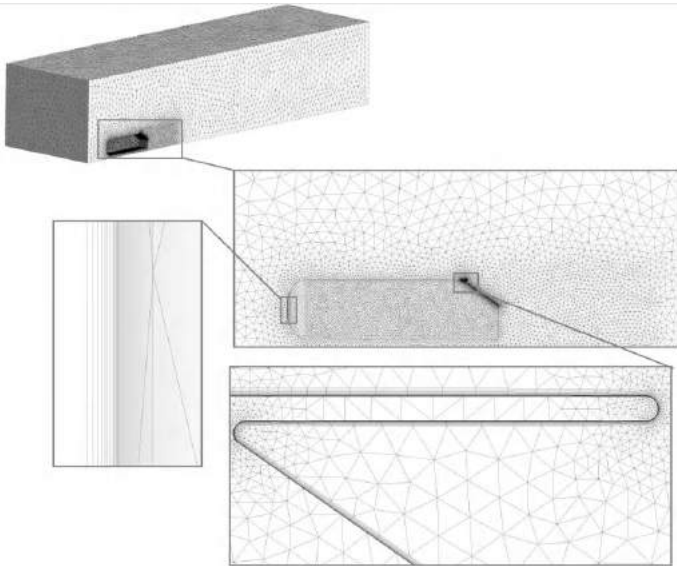


Figure 4. The numerical grid

3. Results and Discussion

Values of drag coefficient obtained from the numerical solutions are presented in **Table 1**, where results related to the reference model without flaps are also given. Accordingly, for 25° rear slant angle, drag coefficient has the smallest value for the three-flap model, with a reduction of approximately 2.5%. However, for 35° rear slant angle, variation in drag coefficient can be neglected, while there is a slight increase in drag by less than 1% for the two- and three-flap models.

Table 1. Calculated values of the drag coefficient

Model	Drag coefficient, C_D	
	25°	35°
Reference (no-flap)	0.353	0.343
Single-flap	0.347	0.343
Two-flap	0.349	0.345
Three-flap	0.344	0.345

Figure 5 compares vectors and streamlines on the symmetry plane ($y/W = 0$) for models with 25° slant angle, indicating that the flow pattern over the slanted surface is distinctive of all cases, whereas the remaining part of the flow pattern is almost identical. Two distinct flow patterns are remarkable: For the no-flap and two-flap models, a secondary vortex exists above the slanted surface (**Figs. 5a and 5c**); while employing a small flap centered around the midpoint of the leading edge eliminates formation of such a vortex, by preventing direct interaction between high-velocity stream and the reversed flow and allowing the reversed flow to climb along the slanted surface almost up to the leading edge owing to generation of local suction regions below the flaps, for the single- and three-flap models (**Figs. 5b and 5d**). Apparently, this is one of the mechanisms leading to drag reduction, since the drag coefficient is reduced by around 1.7% for the single-flap model, by utilizing a single flap at the midpoint of the leading edge (**Table 1**).

Figures 6 and 7 illustrate evaluation of the flow field for all models, in the wake of Ahmed body on the transverse planes of $x/L = -0.08$ and 0, which are coincident with the midplane of the

rear slanted surface and the rear vertical base, respectively. Formation of trailing vortex near the side edge of the slanted surface is delayed in the two- and three-flap models, due to the suction generated by the flaps. It can be deduced that this is another mechanism for reduction in drag, as drag coefficient of the two-flap model is reduced by approximately 1.1%, compared to that of the no-flap model (**Table 1**).

Skin friction lines with pressure contours on the slanted surface are shown in **Fig. 8**, where discontinuities in skin friction lines along the leading and side edges of the slanted surface indicate flow separation. For two- and three-flap models, flow near the side edge becomes attached along a longer part of the slanted surface, again due to the suction effect of the flaps (**Figs. 8c and 8d**). Pressure distribution on the slanted surface indicates that area of regions with relatively higher pressure on the slanted surface increases with number of flaps, and therefore reduction in pressure drag is augmented. No remarkable difference in pressure distribution on the rear vertical base is evident, except for that, a slight increase is observed for the three-flap model near the side edge of the base. The three-flap model with 25° rear slant angle has the smallest drag coefficient (**Table 1**), since both mechanisms of drag reduction are exploited. It can be concluded that, although it is in reverse direction, employing small flaps provides an attached flow on the slanted surface, leading to reduced drag.

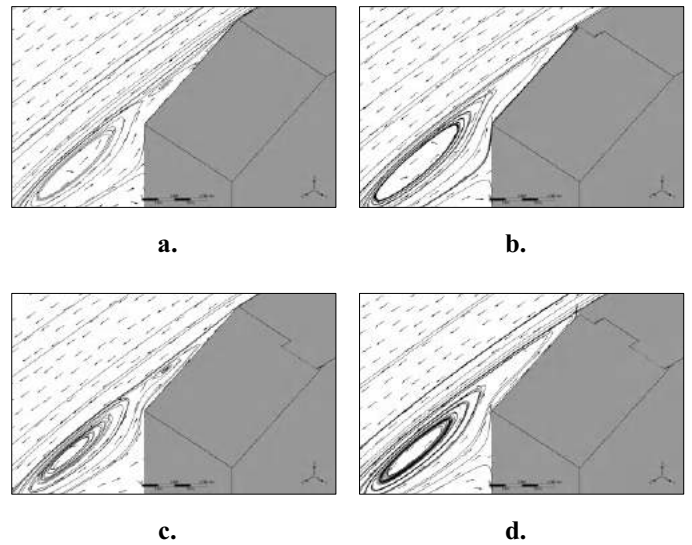
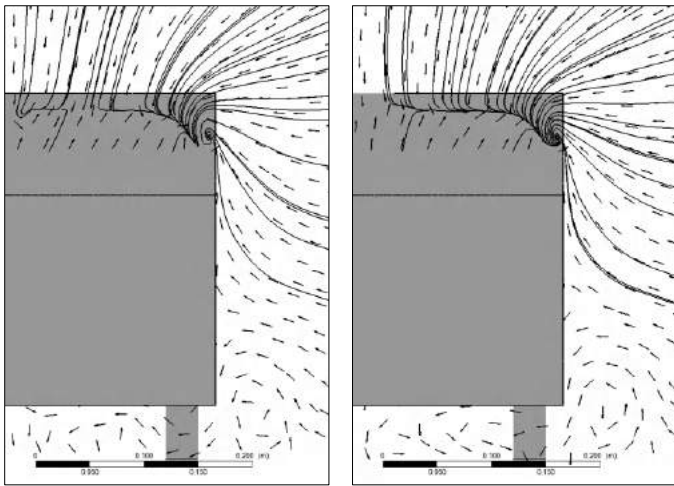
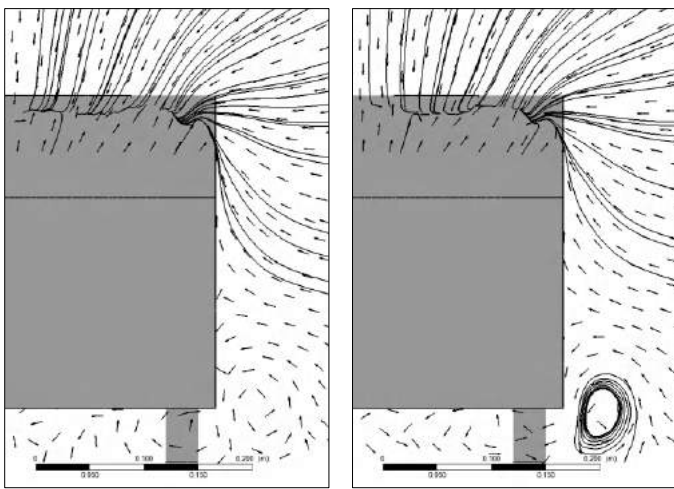


Figure 5. Streamlines and vectors on the symmetry plane ($y/W = 0$) for the **a**) reference (no-flap), **b**) single-flap, **c**) two-flap, and **d**) three-flap models (25° rear slant angle)



a. b.



c. d.

Figure 6. Streamlines and vectors on the plane $x/L = -0.08$: **a)** reference (no-flap), **b)** single-flap, **c)** two-flap, and **d)** three-flap models (25° rear slant angle)

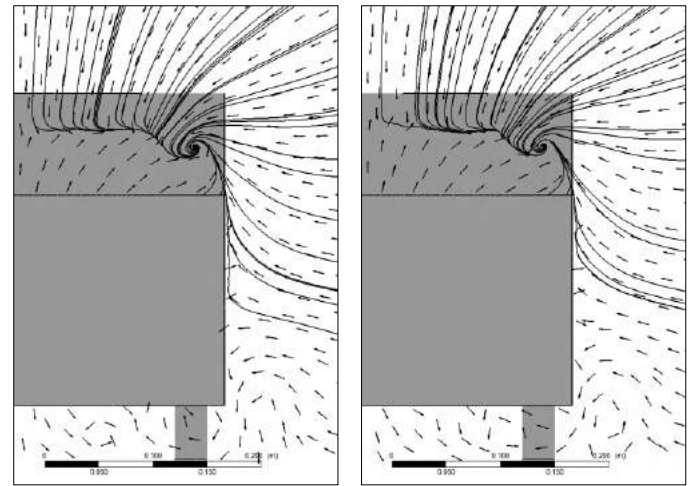
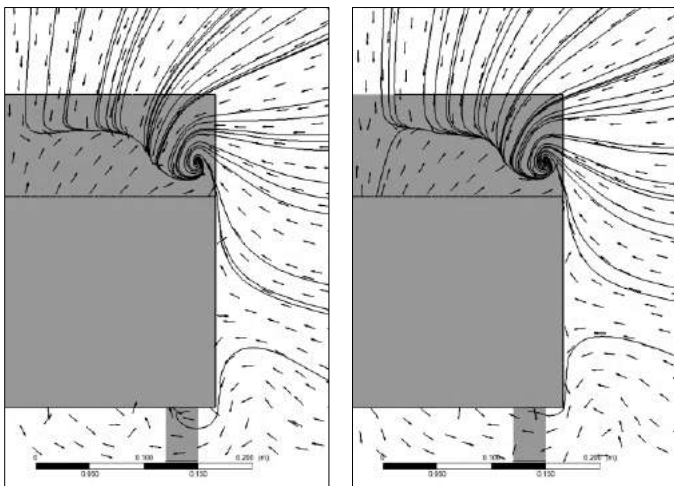
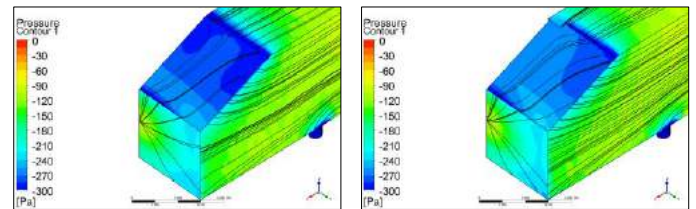
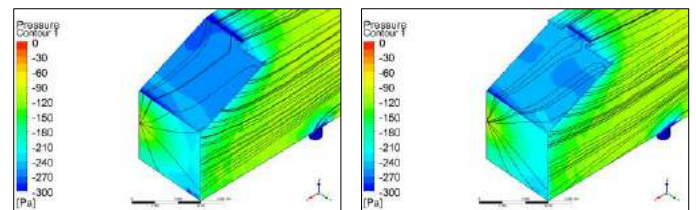


Figure 7. Streamlines and vectors on the plane $x/L = 0$: **a)** reference (no-flap), **b)** single-flap, **c)** two-flap, and **d)** three-flap models (25° rear slant angle)



a. b.



c. d.

Figure 8. Pressure contours with superimposed skin friction lines over the Ahmed body for the **a)** reference (no-flap), **b)** single-flap, **c)** two-flap, and **d)** three-flap models (25° rear slant angle)

As for 35° rear slant angle, addition of flaps on the leading edge of the slanted surface make no remarkable difference in the flow field; since, unlike the case of 25° rear slant angle, the reversed flow on the slanted surface is already attached and a secondary vortex is not formed above the slanted surface (**Figs. 9 and 10**). Pressure distribution over the slanted surface is not affected by the existence of the flaps, except for the region of relatively higher pressure below the flap centered around the symmetry plane (**Figs. 11b and 11d**). On the other hand, the flaps located at each end of the leading edge leads to a local decrease in pressure on the rear vertical base, while lines of skin friction on the slanted surface are curved towards the side edge (**Figs. 11c and 11d**). This might be the reason for the slight increase in the drag coefficient (**Table 1**). Apparently, employing small flaps on the leading edge of the slanted surface has a negative effect in terms of drag coefficient for 35° rear slant angle, since regions of suction is already generated in the reference (no-flap) model along the leading edge (**Fig. 11a**). Also, the drag coefficient of the three-flap model for 25° rear slant angle is very close to that of the no-

flap model for 35° rear slant angle (**Table 1**). This can be interpreted as that utilization of small flaps leads Ahmed body with 25° rear slant angle to approach to that with 35° rear slant aerodynamically.

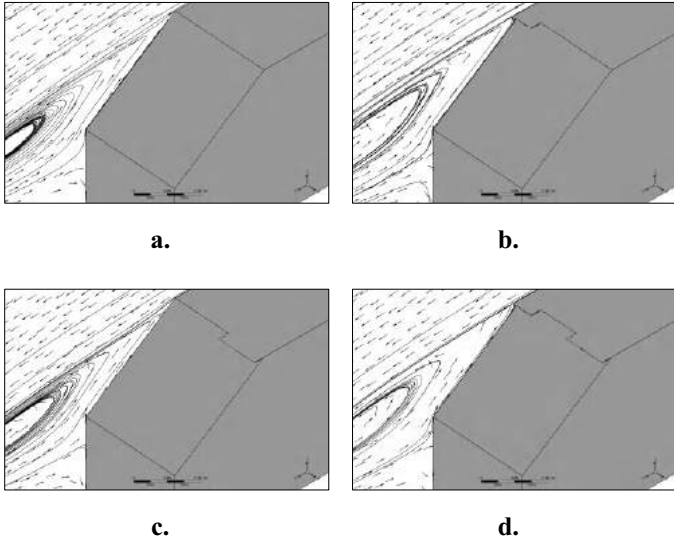


Figure 9. Streamlines and vectors plotted on the symmetry plane ($y/W=0$) for the **a)** reference (no-flap), **b)** single-flap, **c)** two-flap, and **d)** three-flap models (35° rear slant angle)

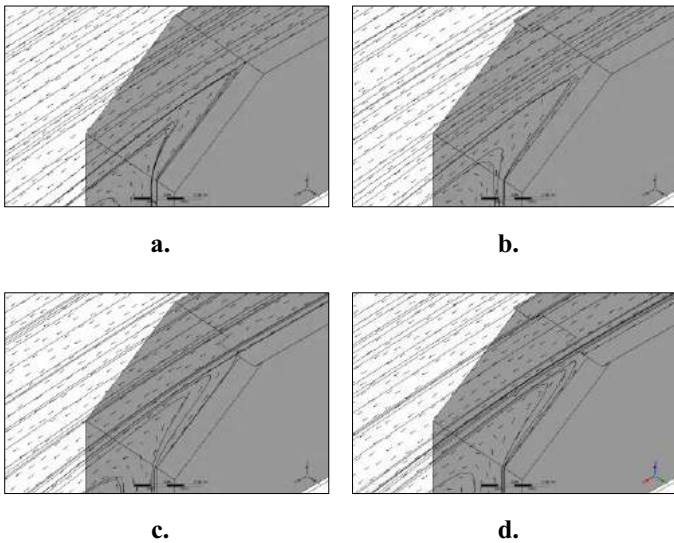


Figure 10. Streamlines and vectors plotted on $y/W=0.4$ plane for the **a)** reference (no-flap), **b)** single-flap, **c)** two-flap, and **d)** three-flap models (35° rear slant angle)

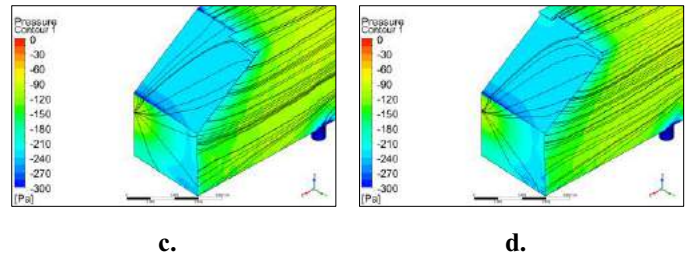
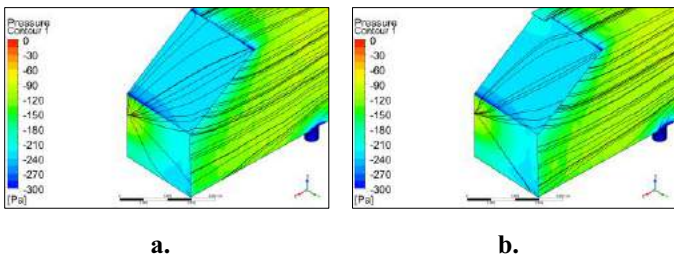


Figure 11. Pressure contours with superimposed skin friction lines over the Ahmed body for the **a)** reference (no-flap), **b)** single-flap, **c)** two-flap, and **d)** three-flap models (35° rear slant angle)

4. Conclusions and Recommendations

Three-dimensional incompressible steady turbulent air flow around Ahmed body with small flaps attached to the leading edge of the rear slanted surface is investigated numerically. Numerical solutions are obtained for single-flap, two-flap, and three-flap configurations with rear slant angles of both 25 and 35 degrees; and values of drag coefficient, as well as velocity and pressure fields are presented.

Results of the numerical calculations have shown that addition of small flaps reduces the drag coefficient only for 25° rear slant angle. Accordingly, two distinct mechanisms for drag reduction are observed: **i)** Elimination of the vortex formed above the slanted surface, and **ii)** delaying the formation of trailing vortices near the side edges of the rear slanted surface. Maximum relative reduction in the drag coefficient is achieved with the three-flap model for 25° slant angle by approximately 2.5%, where both mechanisms of drag reduction are exploited simultaneously.

It is also shown that there is no reduction in the drag coefficient of the models with 35° rear slant angle since the flow on the rear slanted surface is mostly attached. Therefore, the main argument of the passive flow control method considered herein is not available for this case. Mounting flaps even has aerodynamically negative effect for two- and three-flap models with 35° rear slant angle, by causing local regions of relatively lower pressure to be generated on the rear vertical base of the body. Regarding the values of the drag coefficients, mounting flaps to the leading edge of the rear slanted surface makes the model with 25° rear slant angle aerodynamically approach to that with 35° rear slant angle.

Additional calculations for more than three flaps, as well as a single flap covering the whole leading edge of the rear slanted surface would be useful to have a deeper knowledge on the phenomena. Also, parameters that might be of interest in future studies are dimensions and other geometrical properties of the flaps.

References

[1] Byrne, C. E. I. (1999). *Aerodynamics of Road Vehicles*, 4th edition. Edited by WH. Hucho. SAE International, Warrendale, PA, USA. Materials Park, OH 44073-0002, USA 1998. 918 pp. Illustrated. 78. *The Aeronautical Journal*, 103(1026), 398-398.

[2] McCallen, R., Salari, K., Ortega, J., Castellucci, P., Browand, F., Hammache, M., ... & Pointer, D. (2004, June). DOE's

- effort to reduce truck aerodynamic drag-joint experiments and computations lead to smart design. In 34th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit (p. 2249).
- [3] Ahmed, S. R., Ramm, G., & Faltin, G. (1984). Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake. *SAE Transactions*, 473-503.
- [4] Siddiqui, N. A., & Chaab, M. A. (2020). A Simple Passive Device for the Drag Reduction of an Ahmed Body. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 14(1).
- [5] Delassaux, F., Mortazavi, I., Itam, E., Herbert, V., & Ribes, C. (2021). Sensitivity analysis of hybrid methods for the flow around the ahmed body with application to passive control with rounded edges. *Computers & Fluids*, 214, 104757.
- [6] Hanfeng, W., Yu, Z., Chao, Z., & Xuhui, H. (2016). Aerodynamic drag reduction of an Ahmed body based on deflectors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 148, 34-44.
- [7] McNally, J. W., Alvi, F. S., Mazellier, N., & Kourta, A. (2015). Active flow control on an ahmed body-an experimental study. In 53rd AIAA aerospace sciences meeting (p. 0825).
- [8] Tsai, C. H., Fu, L. M., Tai, C. H., Huang, Y. L., & Leong, J. C. (2009). Computational aero-acoustic analysis of a passenger car with a rear spoiler. *Applied Mathematical Modelling*, 33(9), 3661-3673.
- [9] Kurec, K., Remer, M., & Piechna, J. (2019). The influence of different aerodynamic setups on enhancing a sports car's braking. *International Journal of Mechanical Sciences*, 164, 105140.
- [10] Han, M. W., Rodrigue, H., Cho, S., Song, S. H., Wang, W., Chu, W. S., & Ahn, S. H. (2016). Woven type smart soft composite for soft morphing car spoiler. *Composites Part B: Engineering*, 86, 285-298.
- [11] Yuan, C. S., Mansor, S., & Abdullah, M. A. (2017). Effect of spoiler angle on the aerodynamic performance of hatchback model. *Int. J. Appl. Eng. Res*, 12(22), 12927-12933.
- [12] Altaf, A., Omar, A. A., & Asrar, W. (2014). Passive drag reduction of square back road vehicles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 134, 30-43.
- [13] Huminic, A., Huminic, G., & Soica, A. (2012). Study of aerodynamics for a simplified car model with the underbody shaped as a Venturi nozzle. *International Journal of Vehicle Design*, 58(1), 15-32.
- [14] Mohammadikalakoo, B., Schito, P., & Mani, M. (2020). Passive flow control on Ahmed body by rear linking tunnels. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 205, 104330.
- [15] Buscariolo, F. F., Assi, G. R., & Sherwin, S. J. (2021). Computational study on an Ahmed Body equipped with simplified underbody diffuser. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 209, 104411.
- [16] Kashyap, V., Arora, B. B., Bhattacharjee, S., & Mittal, P. (2019). Aerodynamic Effect of Aspect Ratio of Spherical Depressions on the Bonnet of Hatchback Cars (No. 2019-01-5096). *SAE Technical Paper*.
- [17] Shadmani, S., Mojtaba, M., Mojtaba Mousavi Nainiyan, S., Mirzaei, M., Ghasemiasl, R., & Pouryoussefi, S. G. (2018). Experimental investigation of flow control over an Ahmed body using DBD plasma actuator. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 11(5), 1267-1276.
- [18] Bayındırlı, C., Çelik, M., & Demiralp, M. (2018). Bir otobüs modeli etrafındaki akış yapısının CFD yöntemi ile incelenmesi ve sürükleme kuvvetinin pasif akış kontrol yöntemi ile iyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 785-795.
- [19] Zafer, B., & Haskaraman, F. (2017). Önden ve yanal rüzgâr şartı altında Ahmed cisminin sayısal incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 32(1).
- [20] Bayındırlı, C., & Çelik, M. Bir Taşıta Etki Eden Aerodinamik Direnç Kuvvetinin Bagaj Üstü Spoiler ile İyileştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 470-479.
- [21] Beaudoin, J. F., & Aider, J. L. (2008). Drag and lift reduction of a 3D bluff body using flaps. *Experiments in fluids*, 44(4), 491-501.
- [22] Le Good, G. M., & Garry, K. P. (2004). On the use of reference models in automotive aerodynamics.
- [23] Cengel, Y. A. (2010). *Fluid mechanics*. Tata McGraw-Hill Education.



Analysis of Work-Study-Productivity Practice for Enterprise Resource Planning in a Furniture Firm: Case Study

Ercan Şenyiğit^{1*}, Seher Karakaş², Sümeyye Uçar³, Seda Akbal⁴

^{1*} Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9388-2633), senyigit@erciyes.edu.tr

² Femas Metal Industry and Trade Inc., Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3483-3089), seher.karakas@ferre.com.tr

³ Femas Metal Industry and Trade Inc., Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0494-7106), sumeyye.ucar@ferre.com.tr

⁴ Femas Metal Industry and Trade Inc., Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8613-7101), seda.akbal@ferre.com.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005832)

ATIF/REFERENCE: Şenyiğit, E., Karakaş, S., Uçar, S. & Akbal, S. (2021). Bir Mobilya İşletmesinde Kurumsal Kaynak Planlaması için İş Etüdü-Verimlilik Uygulamasının Analizi: Örnek Olay. *European Journal of Science and Technology*, (28), 476-480.

Abstract

Work-study; it is done to determine how the existing work is done, how it can be done without requiring new investment or with very little investment, and to increase production efficiency by using human and material resources most economically and efficiently. In this study, productivity study in a business is discussed by using work-study techniques. In the study, work-study techniques and the application of these techniques in three different product types produced in the enterprise are explained.

During work-study techniques, work systems are examined. With the method study technique, the deficiencies and problems related to the elements of the business system were defined and the results ensured as an outcome of the observation were evaluated. With the time study technique, time standards were found from the basic time data ensured as an outcome of observation. As a result of the observation, problems such as disruptions arising from the lack of planning and programming in the enterprise, unsuitable environmental conditions, the inadequacy of ergonomic measures were encountered. As a result of the method study, various suggestions were made for the improvement of the working conditions. As a result of the time study, new data were obtained to eliminate the lack of planning and control. In addition, it has been determined that improvements in environmental conditions can reduce the fatigue level of workers and save time by reducing standard times. As a result of the findings obtained with this study, it is suggested to the business to benefit from work-study techniques to ensure efficiency. Another aim of this work is to obtain the data that the Enterprise Resource Planning software of the enterprise will need with the help of the data obtained by the work study-productivity application analysis. In the study, the findings obtained as a result of this real-life work-study productivity analysis application are presented.

Keywords: Production management, Productivity, Work-study, Enterprise Resource Planning, Case Study.

Bir Mobilya İşletmesinde Kurumsal Kaynak Planlaması için İş Etüdü-Verimlilik Uygulamasının Analizi: Örnek Olay

Öz

İş etüdü; var olan işin ne şekilde gerçekleştirildiğini, yeni sermaye ihtiyacı olmadan veya düşük miktarda sermaye ile ne şekilde gerçekleştirileceğini belirlemek, işgücü ve gereç imkânlarının en iktisadi ve en uygun şekilde kullanılarak üretim rantabilitesini artırmak amacıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada, iş etüdü teknikleri kullanılarak bir işletmede verimlilik çalışması ele alınmıştır. Çalışmada iş etüdü tekniklerine ve bu tekniklerin işletmede üretilen üç farklı ürün tipinde uygulama çalışması anlatılmıştır.

İş etüdü teknikleri sırasında iş (faaliyet) sistemleri incelenmiştir. Metod etüdü tekniği ile iş sisteminin öğeleriyle ilgili eksiklikler ve aksaklıklar tanımlanmış olup, gözlem sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Zaman etüdü tekniğiyle ise gözlem sonucu ile elde edilen temel zaman verilerinden zaman standartları bulunmuştur. Gözlem sonucu işletme de planlama ve programlama eksikliğinden doğan aksaklıklar, uygun olmayan çevre koşulları, ergonomik önlemlerin yetersizliği gibi problemlerle karşılaşmıştır. Metod etüdü sonucunda, çalışma koşullarının iyileştirilmesi için çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Zaman etüdü sonucunda ise planlama ve kontrol eksikliğinin giderilebilmesi için yeni veriler elde edilmiştir. Ayrıca çevre koşullarıyla ilgili iyileştirmelerin işgörenlerdeki yorgunluk seviyesini düşürerek standart zamanların düşürülmesiyle zaman tasarrufu yapılabileceği belirlenmiştir. Bu çalışma ile elde edilen bulgular sonucunda, verimliliğin sağlanması için iş etüdü tekniklerinden faydalanmaları işletmeye önerilmiştir. Bu çalışmanın bir diğer amacı ise iş etüdü-verimlilik uygulaması analizi ile elde edilen veriler yardımıyla işletmenin Kurumsal Kaynak Planlaması yazılımının ihtiyaç duyacağı verileri elde etmektir. Çalışmada bu gerçek hayat iş etüdü verimlilik analizi uygulaması sonucunda elde edilen bulgular sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Üretim Yönetimi, Verimlilik, İş etüdü, Kurumsal Kaynak Planlaması, Örnek Olay.

* Corresponding Author: senyigit@erciyes.edu.tr

1. Giriş

İmalat yöntemleri eş zamanlı birden fazla faaliyeti gerçekleştirecek bir yerleşim ile tek veya daha fazla türülükte ürün üretirler. Ürünlerini üretirken kalite, zaman ve maliyet unsurlarını göz önünde bulunduran firmalar pazarda en büyük paya sahip olmaktadır. Bu noktada, İş Etüdü (İE) ile firma zaman noktasında oluşan problemlerin önüne geçip üretimi iyileştirecek ve verimlilikte artış sağlayabilecektir. İşletmede oluşan verimlilik artışı ve önlenen darboğazlar sayesinde ürün pazara erken girecek ve işletme pazarda büyük paya sahip olacaktır. İşletmelerde yapılan bu çalışmalar ve geri dönüşler sayesinde bankacılıktan sağlık sektörüne kadar birçok yerde İş Etüdü (İE), Metod Etüdü (ME) ve Zaman Etüdü (ZE) çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Bizde Kayseri Bölgesinde faaliyet gösteren bahçe ürünleri ve salıncak grupların da önemli bir yere sahip olan bir işletmede çalışmamızı yaparken, verimlilik üzerine yapılabilecek iyileştirmeler neler olabilir, oluşan darboğazlar nasıl kaldırılabilir gibi sorulara dikkat ederek çalışmamızı devam ettirdik. Çalışmamızı yaptığımız işletmede birçok ürün çeşidi bulunmaktadır. Genellikle salıncak ve bahçe takımı üretimi gerçekleştiren firma, ürünlerin hammaddesi olan demir, boya ve örgü kısmındaki iplikleri dışardan hazır olarak bu hammaddelerin işlenmesi istenilen ürün haline dönüştürülmesini işletme içerisinde devam ettirmektedir. Üretim alanında ürünlerin kesilmesi, şekillendirilmesi, parçaların birbirine kaynatılması, boyanması, fırınlanması ve paketlenmeden önceki son işlem olan örgü kısmı yapılmaktadır.

Fabrikada gözlemediğimiz bu süreçte birçok üründe bu işlem adımları tekrar etmektedir. 40' tan fazla ürün bulunmasından dolayı çalışmamıza en çok üretimi olan Fındık Salıncak, Kule Salıncak, Damla Salıncak ve bunların asılmasında kullanılan Stant ürünü dâhil edilmiştir. Ürünlerin takibinde her ürünün işlem adımlarında ortalama süre hesabı için farklı iş görenlerde 10 kez ZE alınmıştır. Bu bir ürün üretimi için gereken zaman hesabı yapılmış ve bu ürünler için ME şemaları oluşturulmuştur. Aynı zamanda ürünlerin üretilmesi kısmında oluşan gereksiz taşımalar, ürünler üzerinde yapılan israf, fabrika içerisinde oluşan ara stoklar, iş görenlerin bekleme zamanları, fabrika çevre koşulları, iş gören performansındaki değişimler gözlemlenmiştir. Oluşan bu israflara, zaman kayıplarına ve gereksiz taşımaların önüne geçmek için fabrika içerisinde değiştirilmesi gereken noktalara çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Faaliyet yöntemlerin araştırılması ve ayarlanmasından oluşmaktadır. İmalata tesir eden parametreleri, parametreler arası etkileşimleri, ihtiyaç duyulan ayarlamalar ile değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi işlemlerinin hepsine İş Etüdü ismi verilmektedir.

İş Düzenleme, İşletme Organizasyonu ve Geliştirme Birliğinin İE tanımı şöyledir: "İE, faaliyet etkinliklerinin incelenmesi ve düzenlenmesine ilişkin teknik ve tecrübelerin, çalışan kişinin iş yapabilme gücünü ve gereksinimlerini göz önünde tutarak, işin iyileştirilmesi ve işletmenin daha ekonomik çalışmasını sağlamak amacıyla uygulanmasıdır."

İE'nin hedefleri ise kuruluşlarda etkinliği arttırmak, gerekli çalışma koşulları sağlamaktır. Faaliyetlerin incelenip düzenlenmesine yönelik teknik ve tecrübelerin, iş görenlerin faaliyet yapabilme kapasitesini ve ihtiyaçlarını da dikkate alarak faaliyetin daha iyi hale getirilmesi ve kuruluşun daha ekonomik olarak faaliyet göstermesini hedeflemektedir. Varolan faaliyetlerin, proseslerin ve tekniklerin etkinliğini her zaman yükseltmek için kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir. Bunların hepsi imalattan en üst seviyede kazanç yaratmaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 1. İE Teknikleri

Şahin [1] çalışmasında, İE'nin genel tanımını şu şekilde vermiştir; yaptığı yeniden düzenlemelerle var olan imkanlarla gerçekleştirilen imalatı, çok az bir yatırımla veya hiç yatırım gerektirmeksizin artırmak amacıyla sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1. Metod Etüdü (ME)

Frank Bunker Gilbreth (1868-1924) tarafından ortaya atılan 'hareket etüdü' çalışması günümüzde karşılığı olan 'metod etüdü' çalışmalarını kapsamaktadır.

Metod etüdü (ME), kuruluşun ekonomikliğini, faaliyetlerin etkinliğini artırmak ve işi bireylere uyumlu hale getirmek hedefleriyle gerçekleştirilmektedir.

Üretim yönetimin amacı, ihtiyaçları karşılayacak elverişli mal ve hizmetleri üretmek için, üretim faaliyetlerinin uygun değer bileşimini sağlamaktır. Optimum bileşimi elde etmek için üretimdeki süreç ve işlemlerin, makine ve teçhizat yerleşim planlarının, donanım tasarımlarının iyileştirilmesinin kullanılan malzeme miktarının, bireyin kullandığı çabanın ve yorgunluğun azaltılmasını ve çalışma koşullarının geliştirilmesi noktasında ME çalışmaları kullanılır. ME'de gereksiz iş elemanlarını ortadan kaldırmak, daha kolay yöntemler bulmak ve maliyeti düşürmek önemlidir.

- İşçinin boş beklediği süre varsa azaltılabilir.
- İşçinin gereksiz hareketleri ortadan kaldırılır.
- İşçinin çalışma hızı artırılabilir.

- İşçi için daha iyi çalışma koşulları oluşturulur.
- Üretim süresi boyunca iş akışı dengeye getirilir.
- Makine boş bekleme süreleri azaltılabilir.
- Malzeme firelerine engel olunabilir.

Bu çalışmalar üzerinde üretimdeki verimi artırmak için daha da fazla araştırma yapmak mümkündür. ME'nin verimi birey çalışma koşullarına bağlı olarak yapılan bazı çalışmalar ile artırılabilir.

2.2. ME Şema ve Diyagram Teknikleri

Şema ve diyagramlar, etüt edilen iş hakkında toplanan bilgileri kaydetmeye ve yararlanmak üzere hazır hale getirmeye yardımcı olurlar.

Tablo 1. ME'de kullanılan şema ve diyagramlar

Grup	Sıra	Şema-Diyagram
Proses Şemalar	1	Temel Süreç Şeması
	2	İş Akış Seması-İşçi Tipi
	3	İş Akış Seması-Malzeme Tipi
	4	İş Akış Seması- Donatım Tipi
	5	İki El Süreç Şeması
Zaman Şemalar	1	Çoklu Etkinlik Şeması
	2	SİMO Şeması
Hareket Şemalar	1	Akış Diyagramı
	2	İp Diyagramı
	3	Cyclegraph
	4	Chronocyclegraph
	5	Gezi Şeması

2.3. Zaman Etüdü (ZE)

Zaman Standartları (ZS) modern dünyamızda saatlerin oynadığı role benzer bir özellik taşımakta ve gittikçe daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bir ZS, belirlenen koşullar altında tanımlanan bir çalışmanın yapılabilmesi için gerekli zamandır. ZS'nin bulunması için yapılan çalışmalar ZE olarak tanımlanmaktadır.

ZE, belirli koşullar altında yapılan belli bir işin öğelerinin zamanını ve derecesini kaydederek ve bu yolla toplanan verileri çözümleyerek, o işin tanımlanan bir çalışma hızında yapılabilmesi için gereken zamanı saptamakta kullanılan bir iş ölçme yöntemi olarak da tanımlanabilir.

ZS, ileride yapılması düşünülen çalışmaların planlanmasında ve geçmişteki çalışmaların değerlendirilmesinde kullanılır. En çok bilinen uygulama alanı planlamadır.

ZE işleminin başlıca aşamaları şunlardır:

- İş, iş gören(ler) ve çevre koşulları konusunda elde edilebilecek tüm bilgilerin derlenip kaydedilmesi,
- İşin öğelerine ayrılarak tekniğin eksiksiz bir tanımlanmasının yapılması,
- En etkin tekniklerin ve faaliyetlerin kullanıldığından emin olmak için ayrıntılı öğelerin gözden geçirilmesi ve örnek büyüklüğünün belirlenmesi,
- İş görenlerin, faaliyetin her bir "ögesini" tamamlamaları için gerekli zamanın uygun bir zamanlama cihazı ile ölçülüp kaydedilmesi,

- Gözlemcinin öznel yargılarına göre etkili çalışma hızının tayin edilmesi,
- Gözlenen zamanların "Temel Zamanlar (TZ)" a dönüştürülmesi,
- Çalışma için TZ dışında tanınacak toleransların belirlenmesi.

ZE çalışmaları aynı zamanda, çalışma hızının belirlenip, çalışma hızı ile standart çalışma temposu arasında bağıntı kurulabilmesi için performans değerlendirme gibi tekniklerin de yoğun biçimde kullanımını gerektirir.

2.4. ZE Araçları

ZE uygulamak için bazı araçlar gereklidir. Temel ZE araçları şunlardır:

- Süreölçer
- Etüt tablası
- ZE formları

Bu ekipmanlara etütte her zaman gereksinim duyulmasına rağmen, ek olarak İE bölümünde bulunması gereken araçlar da aşağıdadır.

- Hesap makinesi
- Saniyeli güvenilir bir saat

• Ölçüm araçları; mezura, çelik cetveli, mikro-metre, kantar, hızölçer (devir sayacı). Etüt edilen faaliyetin özelliğine göre diğer ölçüm araçları da kullanılacaktır.

Gelişen teknoloji ile birlikte kullanılan araçlar da değişiklik göstereceği, temel ölçüm ve etüt prensiplerine uygun olan araçların tercih edileceğini bu noktada belirtmekte fayda var.

Süreölçer: Genellikle ZE'de iki tip süreölçer kullanılır. Bunlar geriye dönüşlü ve geriye dönüşsüz tiplerdir. Bazen üçüncü bir tip, iki ibreli süreölçer de kullanılır.

Etüt Tablası: Etüt tablası, plastik maddeden yapılan düz bir tabla olup, üzerine ZE'lerin kaydedileceği belgeler iliştilir. Üzerine süreölçerin de konabileceği bir düzeni olabilir. Böylece İE uzmanın elleri serbest kalabilir ve süreölçer kolayca okunabilecek bir durumda olur. Tablada dikkat edilecek nokta, yorgunluğa neden olmaması için ne uzun ne de kısa olmamasıdır. İE uzmanlarının çoğu kendi kol uzunlarına uygun olarak yapılan etüt tablalarını kullanmayı tercih etmektedirler.

ZE Formları: Etütler düz kâğıtlar üzerine yapılmalıdır. Ancak her defasında yeni form çizmek zor olduğu için, standart bir form belirlenerek bastırılmasında fayda vardır.

2.5. ZE Aşamaları

ZE aşamalarını Üçüncü [2] çalışmasında şu şekilde sıralamıştır:

1. ZE yapılacak yer seçimi,
2. Çevre koşulları hakkında bilgi toplanması,
3. Faaliyet tekniğinin tanımlanması ve faaliyet öğelerine ayrılması,
4. En etkili teknik ve eylemlerin kullanılmasını sağlamak için öğelerin ayrıntılı olarak incelenmesi,
5. Uygun bir iş ölçümü tekniği yardımıyla her eleman için harcanan zamanın belirlenmesi,

6. Gözlemcinin kendi standart çalışma hızı kavramına uygun olarak iş görenin çalışma hızını derecelendirmesi,

7. Faaliyetin her parçası için normal zamanın (NZ) hesaplanması,

8. NZ ek olarak payların belirlenmesi,

9. İşlemin standart zamanının (SZ) belirlenmesi.

2.6. NZ Hesaplanması

Gözlemcinin iş görenin çalışma sırasında Süreölçer ile yaptığı ölçümler fiili sürelerdir. Doğruer [3] NZ'yi, herhangi bir gecikme ya da kesinti olmaksızın bir işin yapılması için gerekli süre olarak belirtmiştir. Fiili sürelerin gözlemcinin belirlediği derece (tempo derecesi) ile çarpılması sonucu ZE elde edilmiş olur. Tempo ise bir iş görenin çalışma sırasını ulaştığı hızdır. TZ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$TZ = \text{Gözlenen Zaman} \times (\text{Derece} / \text{Standart Derece})$

2.7. Derecelendirmenin Hesaplanması

Kanawaty [4] çalışmasında derecelendirmeyi, gözlemcinin standart hız (SH) kavramına göre işçinin çalışma hızını değerlendirmesi olarak tanımlamaktadır.

SH ile işin gözlenen hızı arasında yapılacak karşılaştırmanın etkili şekilde yapılabilmesi için derecelendirme ölçekleri kullanılmaktadır. Birden fazla derecelendirme ölçeği bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı 0-100 ölçeğidir.

2.8. Standart Zamanların Hesaplanması

Ölçülen zamana, öncen tahmin edilmeyen gecikmeler, kişisel ihtiyaçlar ya da yorulma nedeniyle gecikmeler için bazı eklemelerin yapılması gerekmektedir. Normal zamanın yüzdesi olarak hesaplanan bu değerler tolerans olarak adlandırılır. Hesaplanan standart zaman ise bu toleransların ölçülen normal zamanlara eklenmesiyle hesaplanan zamanlardır. Normal zamanın hesaplanmış paylar ile artırılması gerekmektedir. Kanawaty [5] payların, kişisel gereksinimler, temel yorgunluk ve dinlenme payları olarak üç grupta toplanarak hesaplandığını çalışmasında göstermiştir.

3. Bulgular ve Sonuçlar

Fabrika içerisindeki üretimi devam eden Fındık Salıncak, Kule Salıncak, Damla Salıncak ve bunların aşılmasında kullanılan Stant ürünlerine ait gözlemler yapılmıştır. Yapılan gözlemlerde her ürünün üretimi için hangi hammaddeler kullanılmış, nasıl bir sıra ile hangi tezgâhlarda işlem görmüş ve ortalama bir ürünün üretimi için geçen zaman ne kadardır sorularına cevap bulabilmek için üretim alanında ürünlere ait veriler toplanmıştır. Bir bütün oluşturabilmek için üretilen üründe kullanılan hammadde kaynakları, hammaddelerin işlenmesi ve parçaların birleştirilmesinde de kullanılan üretim araçlarının neler olduğundan iş sistemi elemanları kapsamında bahsedilmiştir. Aynı zamanda her ürüne ait ürün ağacına da yer verilmiştir. Her ürün için iş sistemi elemanları ve akış analizinde kullanılan şemalar oluşturulmuştur. Ortalama bir zaman elde edebilmek için ise her ürünün başlangıç ve bitiş kısmına kadar geçen aşamalarda 10 kez gözlem yapılmıştır. Her aşamanın alınan 10 farklı zamanı için ortalama değer elde edilmiştir.

Yapılan gözlemler sonucu kaydedilen ZE verileriyle ZE hesaplaması yapılmıştır. ZE hesaplaması yapılabilmesi için belirlediğimiz tempo değerine 100 yani SH verilmiştir. Bu yüzden kaydedilen normal zaman süreleri aynen alınmıştır. Kişisel ihtiyaç için ayrılan pay ZE'nin %5'i olarak alınmıştır. Dinlenme paylarının hesaplanmasında aşağıda belirtilen faktörler için dinlenme payları alınmıştır.

- İnsan vücudunun pozisyonu (Ayakta Durma): %2
- Bedensel Çaba (Fazla ağır olmayan yükler (11-15kg)): %4
- Göz Çabası (Dikkat gerektiren işler): %1
- Çevre Koşulları (Rahatsızlık veren atölye koşulları): %4

Belirlenen toplam dinlenme payları ise TZ'nin %11'i olarak alınmıştır. Gecikme paylarında ise işin gereği olarak yapılması gereken veya zorunlu olarak ortaya çıkan nedenler bulunup çıkarılmıştır. Gözlemler sonucunda kaynaklarda gaz tüplerinin değiştirilmesi, her salıncak örgüsü sonra yerlerin süpürülerek temizlenmesi, zaman zaman makinelerde görülen arızaları temel olarak ZE'nin %3 ü olarak belirlenmiştir. Belirlenen paylar ile toplam tolerans, temel iş zamanın %19'u olarak belirlenmiştir. TZ'a toleranslar eklenerek SZ'e ulaşılmıştır.

İşletmede üretimi olumsuz yönde etkileyen birçok faktör gözlemlenmiştir. Bunlar; yazın havalandırma, kışın ısınma ve yalıtım eksikliği, gürültü, fırınlamadan önce yapılan boyahane toz boyanın yoğun olarak etrafa yayılması, kullanılmayan-bozuk makinelerin oluşturduğu yer israfı, ürünlerin çapak temizliği sırasında etrafa sıçraması, testere makinelerinin oluşturduğu demir tozlarının etrafa yayılması, örgü hanede kullanılmayan ve kesilmiş ipliklerinde dağınık olarak bırakılması, yürüyüş yolu üzerinde tehlike yaratacak kesilmiş sıçramış parçaların ve ara stokların bulunması vb. durumlar tespit edilmiştir. Çalışanlarda da üretimi olumsuz etkileyecek davranışlar saptanmıştır. Bunlar; ara zamanı gelmeden araya çıkan iş görenler, önemli işi olmadığı halde işin başından sürekli ayrılan iş görenler, demirhanede hammaddelerin iş görenler tarafından dikkatsizce kullanıldığı ve genel olarak işletmede disiplin eksikliği gözlemlenmiştir.

Kuruluş için gerekli çalışan kişi sayısını, alt seviyelerde iş özelliklerini, planlama ve kontrol için zaman verilerini İE uygulayarak belirlemek ve her aşamada birey kuvvetinden faydalanma kesrini artırmak olasıdır. [6] ME iş kapsamının azaltılmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Ekipman ya da iş görenlerle ilgili gereksiz hareketlerin yok edilmesini ve yetersiz yöntemlerin değiştirilerek, iyileştirme yapılmasına olanak sağlanır. İş akış şemaları; bir prosesin gerçekleşmesi için gerekli olan basamakları, verilmesi gereken kararları görsel olarak ifade etme tekniğidir. Bir işin gerçekleşmesi için gerekli bütün basamaklar iş akış şemasında gösterilmektedir. İş akışında her operasyon sırasıyla bağlayıcı oklarla gösterilerek süreç baştan sona ifade edilmektedir. Süreç, bir bakışta tamamıyla anlaşılabilir. Bir ürüne ait olayların akışının oluşturulması yani üretim sürecinde yapılacak işlerin sıralaması, taşınması, kalite kontrol, gecikme ve depolama gibi faaliyetlerden bahsetmek için akış analizi yöntemi kullanılmaktadır. Akış analizi yöntemi sayesinde gereksiz bazı faaliyetler ortadan kaldırılarak, bazı faaliyetler birleştirilerek zaman ve emekten tasarruf sağlanmış olup aynı zamanda işletme verimliliğinin artmasına ve maliyetlerin azalmasına yardımcı olmuştur. Bu

aşamada birden çok şema kullanılarak probleme yaklaşımda detaylı görünüm elde edilmiştir.

Yapılan ZE çalışması sonucunda elde edilen ZE verileriyle ise bir işin ne kadar sürede yapıldığına ulaşılmıştır. ZE sonucunda bulunan bu ZE değerleri hem etken olmayan sürenin ortadan kaldırılmasına hem de üretim ve iş gücü planlamasına önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Kayıp zamanların belirlenmesi sonucunda üretim planlamasında da hatalar minimuma indirgenmiş olur.

İşletmede uygulanan bu tekniklerin sağladığı fayda sonucu, iyileştirme için yapılabilecek birçok öneride bulunulmuştur.

- Taşımaları kolaylaştırmak için daha kullanışlı bir araç,
- Boya tozunun yayılmasının engellenmesi için boyahanenin etrafının kapatılması,
- Kullanılmayan-bozuk makinelerin üretim alanı dışına çıkarılması,
- Kaynak ve spiral kullanılan tezgâhların etrafının çevrilmesi,
- Üretim alanında 5S'in uygulanmasının başta temizlik olmak üzere birçok konuda faydalı olacağı,
- Ara stokların azaltılması için üretim planlarının iyileştirilmesi,
- İş güvenliğinin sağlanması için yürüyüş yollarının belirlenmesi,
- İşçilerin disiplinini sağlamak için gerekli eğitimlerin verilmesi,
- İşletmede yalın çalışmalar yapılarak birçok sorunun önüne geçilebilir.

Çalışma, bir salıncak ve hamak işletmesinde süreçlerdeki verimsizlikleri belirlemek amacıyla İE tekniklerinin uygulanmasını içermektedir. İE ve teknikleri uygulaması seçilen iş kapsamında mevcut durumu tespit etme ve iyileştirme yapılabilecek durumları önerme çalışmasıdır. Bu çalışmada salıncak ve hamak işletmesinde İE teknikleri uygulanmıştır. İşletmede üretilen üç farklı salıncak tipi ve salıncakların asıldığı tek tip standın iş akışına uygun olarak detaylı bir mevcut durum tespiti yapılmış, ürünlerdeki her bir faaliyet zamanı 10 kez ölçülmüş ve ölçümlerin ortalaması alınmıştır. İşletmenin olumsuz yönlerini iyileştirme için çok sayıda önerilerde bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda verilen öneriler dikkate alınmasıyla üretimde yüksek oranda verimlilik artışının gözleneceği söylenebilir.

References

- Şahin, E., (2003). Bir İşyerindeki Metot ve Zaman Etüdü ile Verimliliğin Belirlenmesi. *Teknoloji Dergisi*, 3-4, 59-66.
- Üçüncü, K., (2005). Ergonomi ve İş Etüdü, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Ders Notları, No:77, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.

Doğruer, İ., (2014). İş Etüdü. 2. Baskı, Açılım kitap, İstanbul.

Karayalçın, İ., (1977). Fabrika Organizasyonu, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.

Kanawaty, G., (2004). İş Etüdü. (çev. Zühal Akal). Ankara: Mpm Yayınları no:29.

Haftacı, V., (1995). Verimlilik Çözümlemeleri, KOÜ Yayınları, İzmit.



IoT Sistemlerde Sınır Bilişim Destekli Anomali Tespiti

Mert Kışlakçı^{1*} ve Mahmut Durgun²

^{1*} Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği ABD., Tokat, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8506-7498), mertkislakci@gmail.com

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5010-687X), mahmut.durgun@gop.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006603)

ATIF/REFERENCE: Kışlakçı, M., Durgun, M. (2021). IoT Sistemlerde Sınır Bilişim Destekli Anomali Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 481-488.

Öz

Endüstriyel uygulamalarda artık insan denetimine ihtiyaç duymayan, sürekli çalışırken aynı zamanda da birbirleriyle iletişim kurabilen sistemler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Fakat bu sistemlerde yaşanan beklenmedik arızalar üretim sürecini sekteye uğratmaktadır. Arızaların plansız olması, yedek parça stokunun bulunmaması, parça tedarik süresi gibi durumlar da üretimin devamlılığını engelleyen faktörlerdir. Endüstriyel uygulamalarda bir diğer sorun ise sistemlerin yeterli verimlilikte çalışmaması sebebiyle israf ettiği kaynaklardır. Bunun neticesinde verimli çalışmayan sistem gereksiz kaynak tüketimi yaparken, verimli çalışan ekipmanlar ise bakım periyotları sırasında kullanılabilir durumda olmasına rağmen yenisi değiştirilerek maliyeti arttırmaktadır. Yine de düzenli yapılan bakımlar sistemin arıza yapmamasına engel olamamaktadır. Bunun nedeni sistemin gerçek zamanlı takip edilememesinden, arızaya ne veya nelerin sebep olduğunun bilinmemesidir. Bu proje kapsamındaki IoTSBDAT (IoT Sistemlerde Sınır Bilişim Destekli Anormallik Tespiti) teknolojisi ile üretim sürecinde yer alan ekipmanlar nesnelerin internetine (IoT) sahip düğüm noktalarına dönüştürülerek her ekipmandan gerçek zamanlı veri alınacaktır. Ekipmandan gelen değerler sınır bilişim adı altında birleştirilerek yapay zekâ vasıtasıyla yerel noktalardaki veriler ile gerçek zamanlı olarak eğitilir. Eğitim sonuçları ve sistemin gerek duyduğu veriler önce burada depolanır, daha sonra sınır katmanında analiz edilen veriler bulut katmanında depolanmak üzere aktarılır. IoTSBDAT çalışması sistemlerin gerçek zamanlı izlenmesini mümkün hale getirirken yapay zekâ sayesinde ekipman kaynaklı arızaların tespitini amaçlamaktadır. Bulut sistemlerinde yaşanan problemlerde veya yerel noktalardaki veri iletiminde herhangi bir kopukluk olması durumunda ise sınır bilişim katmanında veriler saklanır sistem normalde döndüğünde depolanan veriler buluta aktarılarak veri kaybı engellenir. Sistemin gerçek zamanlı izlenmesi neticesinde arızalar önceden kestirilerek gerekli yedek parça tedariki ve bakım aralıkları planlanır, kullanılan kaynaklardan tasarruf edilirken bakım harcamalarındaki maliyetleri düşürmeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Nesnelerin İnterneti (IoT), Anormallik Tespiti, Sınır Bilişim, Kestirimci Bakım.

Edge Computing Assisted Anomaly Detection in IoT Systems

Abstract

In industrial applications, studies are carried out on systems that no longer need human control and can communicate with each other while working continuously. However, unexpected failures in these systems disrupt the production process. Unplanned failures, insufficient spare parts stock and part supply time are also factors that hinder the continuity of production. Another problem in industrial applications is the resources wasted by the systems due to insufficient efficiency. As a result, the system that does not work efficiently consumes unnecessary resources, while replacing it while efficient equipment is available during maintenance periods increases the cost. However, regular maintenance cannot prevent the system from malfunctioning. This is due to the fact that the system cannot be monitored in real time, it is not known what or what caused the error. Within the scope of this project, with IoTSBDAT (Border Information Assisted Anomaly Detection in IoT Systems) technology, the equipment involved in the production process will be converted into node points with the Internet of Things (IoT) and real-time data will be obtained from each equipment. The values obtained from the equipment are combined under the name of border computing and trained in real time with data from local points through artificial intelligence. The training results and the data needed by the system are stored here first, then the data analyzed at the boundary layer is transferred to be stored in the cloud layer. The IoTSBDAT study makes real-time monitoring of systems possible, while AI aims to detect equipment-induced failures. In the event of problems with cloud systems or any disconnection in data transmission at local points, data is stored in the boundary computing layer, preventing data loss by transferring stored data to the cloud when the system normally returns. As a result of real-time monitoring of the system, failures are foreseen and the necessary spare parts supply and maintenance intervals are planned and maintenance costs are reduced while saving the resources used.

Keywords: Artificial Intelligence, Internet of Things (IoT), Anomaly Detection, Edge Computing, Predictive Care.

1. Giriş

Dünder ve ark. yaptıkları çalışma neticesinde endüstriyel ekosistemdeki makine arızalarını önleyerek üretimde oluşabilecek kesintileri azaltarak ilgili maliyetleri düşürmenin etkin bir bakım yönetimi ile mümkün olabileceğini savunmuşlardır[1]. İlave bakım yönetimi önleyici, düzeltici ve kestirimci bakım operasyonlarının yönetilmesi çalışmalarını içermektedir[2]. Sensör ve bilişim sistemlerindeki gelişmelerle kestirimci bakım çalışmaları endüstriyel uygulamalar için son derece önem kazanmıştır[3]. Veri bilimine dayalı makine öğrenimi algoritmalarının katkısıyla güçlendirilen kestirimci bakım sistemleri, yeni üretim sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olarak geliştirilir[4]. Son yıllarda, arızaların gerçek zamanlı tespit edilmesi, sistem durumunun anlık izlenmesi konuları yeni bir eğilim haline gelmiş ve kestirimci bakım alanlarında akademik çalışmalar hız göstermiştir[5]. Kestirimci bakım, sistem içerisinde oluşabilecek arızaları oluşmadan önlemek amacıyla bakımın hangi anda ne zaman yapılabileceğini tahmin etmeye odaklanır[6]. Arızalar, hatalı ekipmanlar, etkin olmayan zaman dilimleri gibi israfları önlemede etkin bir rol oynamaktadır.

Endüstriyel çaplı Nesnelerin İnterneti (IIoT) bilinen diğer adı ile Endüstri 4.0, ekipman kullanımı, süreç maliyeti, işçi verimliliği konularına daha fazla yoğunlaşmıştır[7]. Endüstriyel IoT, düşük maliyetli sensörleri etkili bir biçimde operasyona dahil edilmesi ile ilgilidir. Makine verilerini toplamak ve elde edilen veriler ile anlamlı sonuçlar çıkarmak için ileri analitik yapılar kullanılmaktadır.

Endüstriyel IoT'nin üreticilerin verimliliklerini %30 arttırmalarına izin vereceği tahmin edilmektedir [8].

Karmaşık ortamlarda birden çok kaynaktan veri toplarken gerçek zamanlı sistemler için zorluk teşkil etmektedir[9]. Zamana bağlı birkaç sensörün veri paketleri ilettiği IoT ortamlarında, ilgili maliyetler (örneğin bant genişliği sınırlamaları ve enerji hususları) nedeniyle veri toplama hızı sınırlı olabilir. Ayrıca, veri üretimiyle ilgili ortam karmaşıklığı, veri toplarken kritiklik ve zamanlılığı dengelemek için ek zorluklar getirebilir[10].

Bilişim teknolojileri insan yaşamının her alanını gün geçtikçe değiştirmektedir. Bu bağlamda Edge Computing, Internet of Things, Machine Learning ve Big Data Analytics teknolojilerinin de bu değişimin bir parçası olduğu düşünülüyor. Edge bilişim, uzak bulut ortamlarından bilgi işlem gücünü ağların uç noktalarına/kenarlarına getirmeyi amaçlar. Böylece akıllı uygulamalar tüm verilerini buluta göndermek ve cevapların aynı uzun rota üzerinden geri gelmesini beklemek zorunda kalmıyor[11].

Nesnelerin endüstriyel internetinde IIoT, binlerce parça donanım, alet ve çeşitli denetleyiciler söz konusu olduğundan, temel sorun sensörlerdir. Sensörleri kullanarak algılama, IIoT'nin alt satırıdır ve IIoT sisteminin algılama doğruluğunu ve kontrol göstergelerini doğrudan etkiler. Ancak, IIoT cihazları tarafından üretilen çok sayıda gerçek zamanlı veri bulut bilgi işlem merkezlerine aktarıldığında, büyük ölçekli veriler kaçınılmaz olarak bilgi işlem yükünü getirecek ve bu da bulut bilgi işlem merkezlerinin bilgi işlem hızını etkileyecek ve bulut bilgi işlem veri merkezlerinin bilgi işlem yükünü artıracaktır. Bu faktörler, IIoT'de gerçek zamanlı olarak toplanan sensör verilerinde doğrudan kararsızlığa ve gecikmeye yol açar[12].

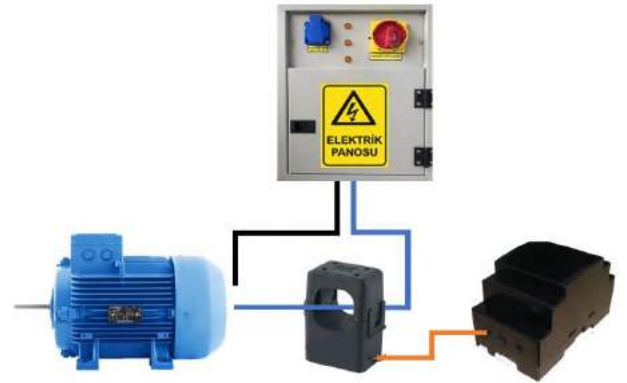
Bu çalışmada endüstriyel sistemleri nesnelerin interneti (IoT) ekosistemine dahil ederek veri üretebilen noktalar haline getirmek ve daha sonra elde edilen bu veriler ile çeşitli yapay zekâ modelleri kullanılarak sistemdeki anormalliklerin algılanması amaçlanmıştır.

Proje kapsamında tek fazlı elektrik motorundan gelen değerler gerçek zamanlı verileri toplamak için geliştirilen IoT bir cihaz ile toplanacaktır. Elde edilen bu veriler yerel noktalarda bulunan sınır bilgisayarlarına aktarılarak yapay zekâ modelinin eğitilmesi hedeflenmektedir. Sistem için gerekli olan kıymetli veri bulut ortamına aktarılıp depo edilir. Depo edilen kıymetli veri üzerinde elektrik motorunun zaman dilimlerine göre harcadığı enerji, zaman serilerine bağlı değerleri, gerçekleşen anormallik durumlarının süreleri gibi çeşitli analiz sonuçları çıkarılacaktır. Bu sayede sistemin her zaman optimum aralıkta çalışması sağlanacaktır.

2. Materyal ve Metot

Sistem uygulamalı olarak endüstriyel çalışma ortamında bulunan bir üretim bandına dahil edildi. Periyodik bakımları yapılmasına rağmen elektrik motorunda çeşitli zaman aralıklarında arızalar meydana gelmektedir. Bu sebeple üretim bandından istenilen verim alınamamaktadır. Çalışma kapsamında "IoT Sistemlerde Sınır Bilişim Destekli Anormallik Tespiti" sistemi üretim bandına entegre edilir.

Buna göre arıza tespiti yapılacak ekipmanın nesnelerin interneti (IoT) ekosistemine dahil edilmesi amacıyla üretim bandında bulunan tek fazlı elektrik motoruna ait bir faza akım trafosu bağlanır. Sensörden gelen gerçek zamanlı veriler ağ geçidine (gateway) aktarılır (Şekil-1).

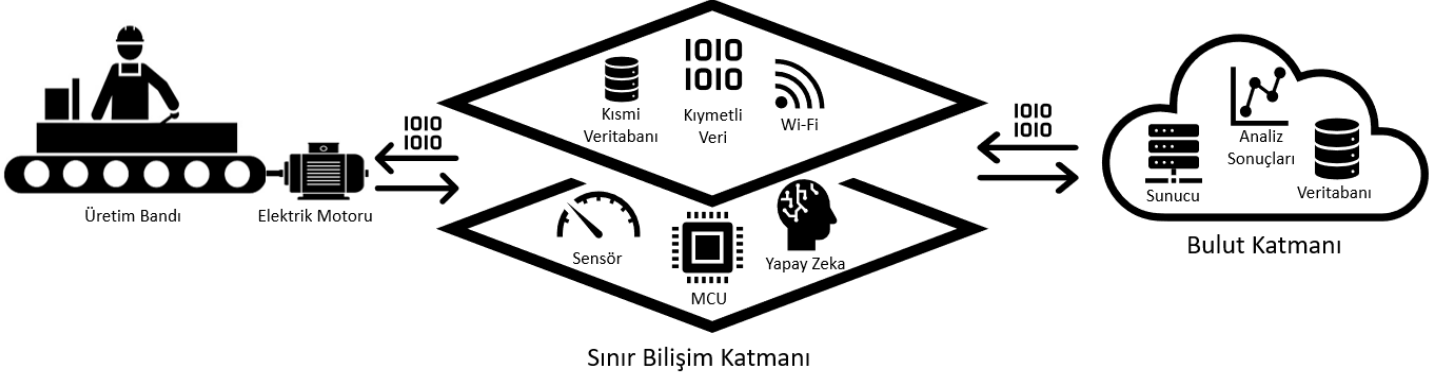


Şekil- 1 Sistem Kurulumu

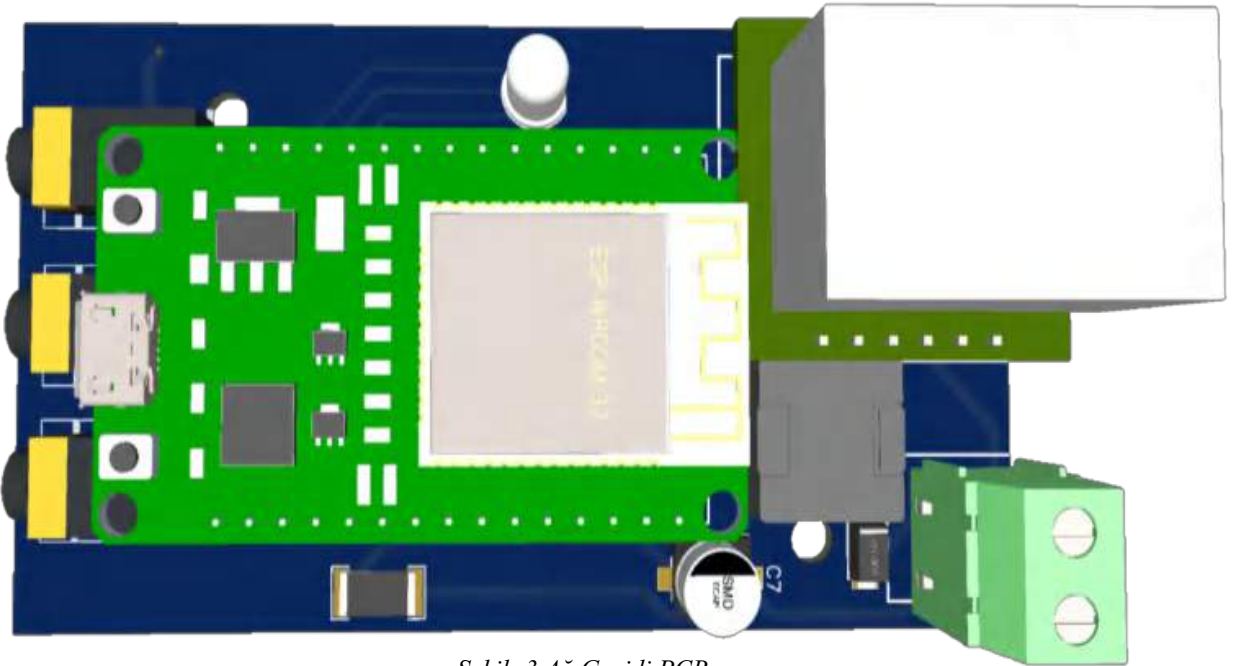
Ağ geçidinde toplanan veriler yapay zekâ modelinin eğitimi için veri seti oluşturmak amacıyla bulut sistemlerine gönderilir. Ağ geçidi çevresel şartlara bağlı olarak bulut katmanına veri iletmek için kablolulu (Ethernet) veya kablosuz (Wi-Fi) haberleşme protokollerinden birini kullanabilme yetisine sahiptir. Bulut katmanına veri gönderimi esnasından bağlantının kesilmesi durumunda ise ağ geçidinin üzerinde bulunan SD kart aracılığıyla veri kısmi olarak burada saklanır. İletişimin normalde döndüğü esnada ise geçici depolanan veriler bulut katmanına aktarılarak sistemin veri kaybetmesi engellenir. Bulut üzerinde toplanan her veri ekipmanın karakteristik özelliği farklı olabileceğinden; A bandında bulunan motorun özellikleri, yaptığı iş, kullanım süresi B bandında bulunan motora göre farklılık gösterebilir. Yapay zekâ

modellerinde genel bir veri setine göre model eğitmek analiz sonuçlarının doğruluğunu düşüreceğinden her ekipmana özel veri seti toplanır ve bu veri setleriyle yine ekipmana özgü yapay zekâ modeli eğitilerek modelin arızayı tahmin etme başarısı yükseltilmektedir. Bulut katmanında bulunan sunucularda ekipmandan gelen veriler belirli periyotlarla yapay zekâ modelleri eğitilir. Eğitim sonucunda ekipmana ait yapay zekâ modelinin

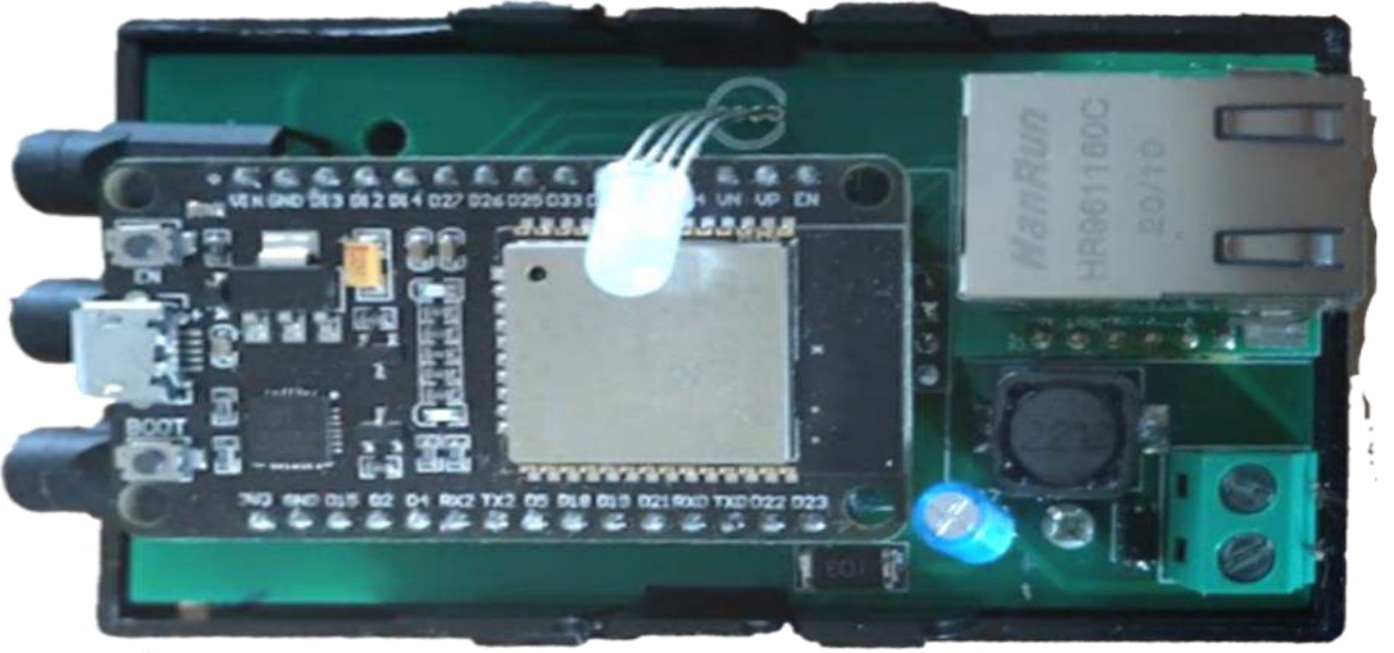
ağırlık çıktısı havadan programlama (OTA) ile ağ geçidine aktarılır. Yapay zekâ modeli artık ağ geçidi üzerinde çalıştırılarak motordan gelen anlık akım değerlerinin analiz yapılması sağlanır. Bu süreçte elde edilen anormal veriler “Kıymetli Veri” adını alarak bulut katmanına aktarılarak analiz sonuçlarının daha sonra incelenmesi maksadıyla saklanır. (Şekil-2)



Şekil- 2 Sistem Yapısı



Şekil- 3 Ağ Geçidi PCB
Tasarımı



Şekil- 4 Ağ Geçidi

Akım Trafosu

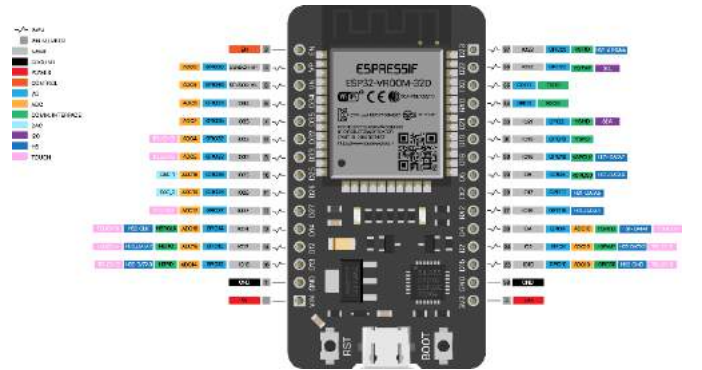
Akım trafosu devreden geçen akım miktarını ölçmek için kullanılan ölçü bir çeşit transformatördür. Yüksek alternatif akımları ölçü aletleri tarafından direkt olarak ölçülmesi, yüksek maliyetli olmasının yanı sıra bir o kadar da tehlikelidir. İşte bu yüzden devreden geçen akım miktarının ölçülebilmesi için belirli bir referans değerine indirgenmesi gerekmektedir. Devreye seri olarak bağlanabilen akım trafosu, primer devreden geçen akımın meydana getirdiği manyetik alanı indirgeyerek sekonder devreye aktarır. Sekonder devrede oluşan döngüsel akım ile sekonder sargıya paralel bağlanan ölçü aleti primer devreden geçen akım miktarı ölçmektedir [13].



Şekil- 5 Akım Trafosu

ESP32-MCU

Espressif Systems tarafından oluşturulan ESP32, çift modlu Bluetooth ve Wi-Fi özelliklerine sahip bir çip (SoC) serisi üzerinde düşük maliyetli, düşük güç tüketen bir sistemdir! ESP32 ailesi, ESP32- D0WDQ6 (ve ESP32- D0WD), ESP32- D2WD, ESP32- S0WD yongalarını içerir., ve paketdeki sistem (SiP) ESP32-PICO-D4. Kalbinde, 240 MHz'e kadar saat hızına sahip çift çekirdekli (dual core) veya tek çekirdekli (single core) Tensilica Xtensa LX6 mikroişlemci barındırır. ESP32, gömülü gelen yerleşik anten anahtarları, güç amplifikatörü, RF balun, düşük gürültülü alıcı amplifikatör, filtre türleri ve güç yönetimi modülleri ile yüksek düzeyde entegredir. Mobil ile elektronik cihazlar ve IoT uygulamaları için tasarlanan ESP32, ince çözümlü saat geçişi, çoklu güç modları ve dinamik güç ölçeklendirme gibi güç tasarrufu özellikleri sayesinde ultra düşük güç tüketimi sağlar[14].



Şekil- 6 ESP32 Pin Çıkışları

Tablo 1. ESP32 Özellikleri

ESP32	TANIM
Çekirdek	2
Mimari	32 bits
Hız	Tensilica Xtensa LX106 160-240MHz
WiFi	IEEE802.11 b/g/n
Bluetooth	Yes- classic & BLE
RAM	520KB
Flash	Extern QSPI- 16MB
GPIO	22
DAC	2
ADC	18
Protokoller	SPI-I2C-UART-I2S-CAN

W5500 Lite-Ethernet Modülü

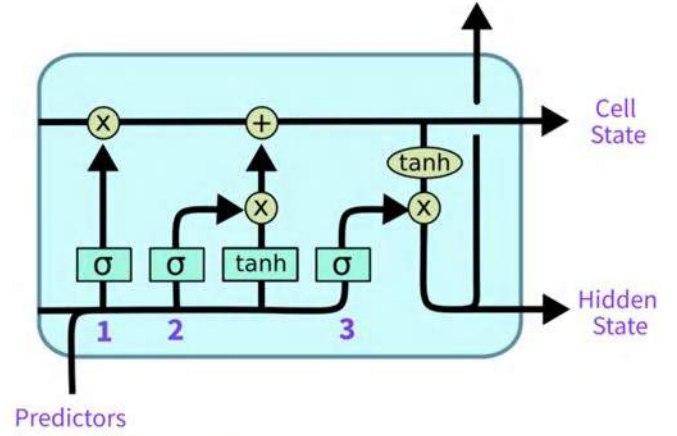
Ethernet haberleşmesi yapmak için geliştirilmiş bir modüldür. Wiznet'in W5500 entegresi kullanılmıştır. Ethernet haberleşmesi için gereken protokol yazılımları entegre içerisine yüklenmiştir. Bu sayede karışık ethernet stackleri ile uğraşmadan ethernet haberleşmesi yapabilmeyi sağlar. SPI portu üzerinden (80 Mhz) bağlantı kurulur. Minimal tasarımı sayesinde çok az yer kaplar. Aynı anda 8 bağımsız soketi destekler[15].



Şekil- 7 Ethernet Modülü

Yapay Zekâ Modeli-LSTM

Uzun kısa süreli bellek (LSTM), değerleri rastgele aralıklarla hatırlayarak tekrarlayabilen bir sinir ağı (RNN) mimarisidir. Öğretilen ilerleme kaydedildiğinde gizli katmanda saklanan değerler değiştirilemez. RNN'ler, nöronlar arasında ileri ve geri bağlantılara imkân verir. Bir LSTM, önemli durumlar arasındaki bilinmeyen boyutları ve süreleri zaman gecikmeleri göz önüne alınarak zaman serilerini sınıflandırmak, öngörmek ve işlemek için oldukça uygun bir mimaridir. Boşluk uzunluğuna göreceli duyarsızlık, alternatif RNN'ler, gizli Markov modelleri ile sayısız uygulamadaki diğer dizi öğrenme yöntemlerine kıyasla LSTM'ye bir büyük bir avantaj sağlamaktadır[16].

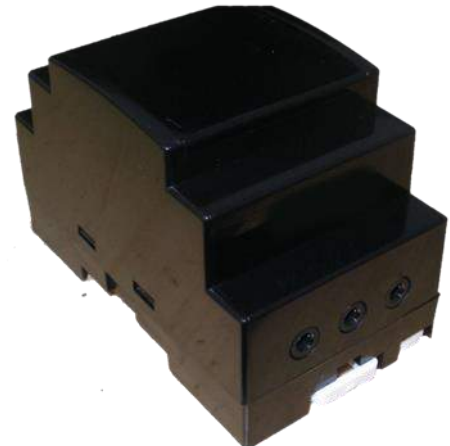


Şekil- 8 LSTM Katmanı[17].

Ağ Geçidi (Gateway)

“IoT Sistemlerde Sınır Bilişim Destekli Anomali Tespiti” sistemi tespit edilecek arızanın türüne göre bünyesinde çeşitli görevlere uygun ağ geçitleri (gateway) barındırmaktadır.

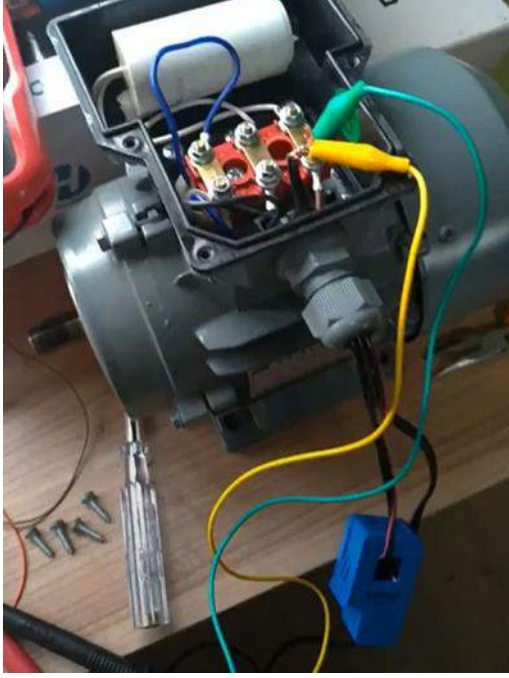
- Dijital ile analog sensörden gelen her türlü veri toplanabilmektedir.
- Çevre şartlarına uygun olarak kablolu (ethernet) veya kablosuz (Wi-Fi) haberleşme protokollerini desteklemektedir.
- Ağ geçidinin üzerinde bulunan güç girişi üzerinden 24-5 volt aralıklarında doğru akım ile besleme yapılabilmektedir.
- LC yıkıcı ani voltaj artışlarına karşı alçak geçiren (low-pass) filtre devresine sahiptir.
- Bulut katmanı ile iletişimi esnasında sorun olması durumunda geçici veri depolama birimi mevcuttur.
- Havadan güncelleme (OTA) ile eğitimi gerçekleştirilen yapay zekâ modelleri entegre edilebilir.
- Üzerinde bulunan bildirim ışığı ile ağ geçidinin (gateway) arıza, ikaz ve devreye alındığıyla ilgili geri bildirim vermektedir.



Şekil- 9 Ağ Geçidi (Gateway)

3. Bulgular

Yapılan çalışmanın laboratuvar ortamında bilimsel bulgular çıkartılması ve sistemin test edilebilmesi amacıyla tek fazlı elektrik motorunun bir fazına akım trafosu bağlanmıştır (Şekil-10).



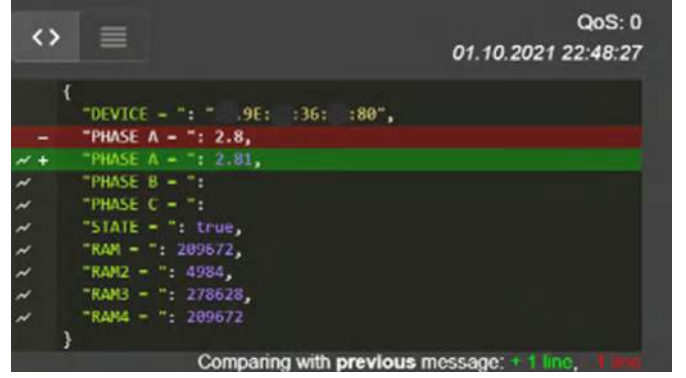
Şekil- 10 Tek Fazlı Elektrik Motoru

Avometre ile yapılan ölçümlerde motorun çektiği akım miktarı 2,7 – 2,9 Amper aralığında olduğu tespit edilmiştir (Şekil-11).



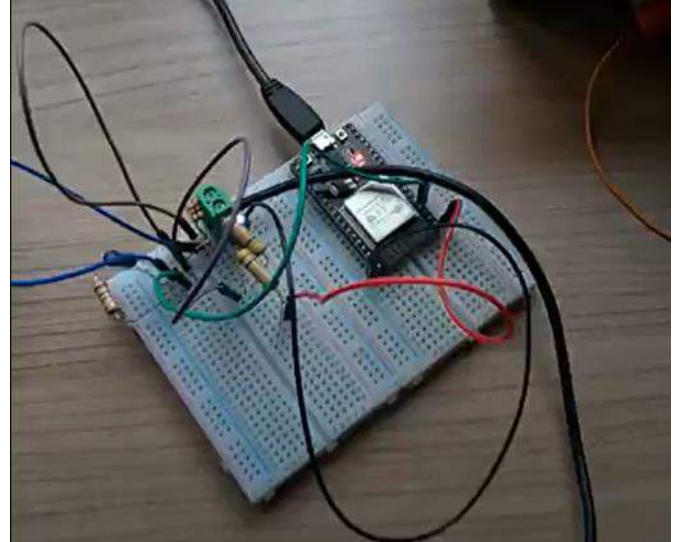
Şekil- 11 Motorun Çektiği Akım Miktarı

Sensörden gelen veriler ağ geçidi (gateway) vasıtasıyla kablosuz haberleşme protokolü (Wi-Fi) üzerinden MQTT kullanılarak buluta aktarılmıştır. Akım miktarının ise avometreye kıyasla %1,5 hata payı ile ölçtüğü gözlenmiştir (Şekil-12).



Şekil- 12 MQTT ile İletilen Akım Değerleri

Ölçüm sırasında meydana gelen %1,5 hata payının analog ölçümlerde meydana gelen gürültüden kaynaklandığı kanısına varılmıştır. Gürültünün düşürülmesi amacıyla ağ geçidinin analog girişi (ADC) ile akım trafosunun çıkışına filtre devresi tasarlanmıştır. Ölçümler tekrar alındığında ise gürültü %0,3 hata payına indirgenmiştir (Şekil-13).



Şekil- 13 ADC Filtre Devresi

Elektrik motoru test ortamında çeşitli arıza senaryolarına tabi tutularak toplamda 8433 adet veri toplanılmıştır (Şekil-14).



Şekil- 14 Elektrik Motoruna Ait Veriler

Elde edilen veriler üzerinden bir yapay zekâ modeli olan Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ile 4 katmanlı hücre oluşturulmuştur (Şekil-15).



Şekil- 15 Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)

Eğitim sonuçlarına göre saat 07:48:30 – 07:49:20 zaman dilimlerinde akım miktarlarında anormallik algılanmıştır. Motorun çalışma aralığı yapay zekâ modeli ile 2.6 – 3.0 amper seviyeleri normal kabul edilmiş olup bu aralığın altında veya üstünde çıkan her değer için model anormallik uyarısı vermiştir (Şekil-16).



Şekil- 16 Test Sonuçları

4. Tartışma

Akım sensörlerinden ağ geçidine giden kabloların üzeri elektromanyetik gürültülerden etkilenmemesi maksadıyla dış yalıtımlı kablo ile değiştirilmiştir. Bu yalıtımın sensör çıkış ucunda da devam edebilmesi için 3.5 mm jack konektör takılmıştır.

Elektrik motoru çeşitli zaman dilimlerinde değişik arıza senaryolarına tabi tutularak farklı türde veri grupları toplanmıştır. Elde edilen bu veriler ile yapay zekâ modeli bir ve birden fazla katmanlar ile eğitimler gerçekleştirilmiştir. Bu eğitim sonuçları karşılaştırıldığında ortalama 8 bin veride modelin doygunluğa erişmesi (öğrenmenin tamamlanması) için en az 4 katmanlı bir model kullanılması gerektiği anlaşılmıştır.

Testleri tamamlanan modelin sahada da doğruluğunun kanıtlanması amacıyla endüstriyel bir bandın üzerinde bulunan üç fazlı bir elektrik motoruna entegre edilmiştir. Bir hafta boyunca motordan gelen veriler veri tabanına aktarılmıştır. Daha sonra bulut katmanında bu veriler ile yapay zekâ modeli kendini eğitmiştir. Eğitim sonucunda oluşturulan yapay zekâ modeli havadan güncelleme (OTA) üzerinden sınır bilişim katmanına aktarılmıştır. Burada üç fazlı elektrik motorundan gelen bilgiler doğrultusunda B fazında motorun normalden fazla akım çektiği saplanmıştır. Bakıma alınan motorun B fazında gerçekten bir arıza olduğu bakım ekibi tarafından tescillenmiştir.

5. Sonuçlar

“IoT Sistemlerde Sınır Bilişim Destekli Anomali Tespiti” projesi farklı sektörlere uyarlanmaya devam etmektedir. Çalışmalar halihazırda devam ettiğinden başarıyla tamamlanması neticesinde öngörülen sonuçlar şunlardır;

- Çeşitli sektörde farklı görevlerde çalışan araç, gereç ve ekipmanı Nesnelerin İnterneti (IoT) platforma dahil edecektir.
- Nesnelerin İnterneti platformunda çalışan her sistemin verimliliği denetlenebilecektir.
- Bu sistemlerin bakım maliyetleri düşürülecektir.
- Gereksiz ekipman yenilemelerinin önüne geçerek kaynaklardan tasarruf edilecektir.
- Parça tedarikleri planlanacaktır.
- Bakım periyotları gerekli olduğu anlarda yapılacaktır.
- Sistemlerde yaşanan arıza süreçleriyle ilgili sorunlara ışık tutarak bunların önlenmesine yardımcı olacaktır.
- Sistemin devamlı çalışmasını sağlayarak arıza kaynaklı gecikmelere engel olacaktır.
- Yüksek verimli sistemler tasarlamayı mümkün hale getirecektir.
- Veri karmaşasının önüne geçerek kıymetli veriler oluşturacaktır.
- Gerçek zamanlı sistemlerde buluta yüklenen yoğun iş yükünü azaltacaktır.

6. Teşekkür

Proje süresince bana her konuda rehberlik eden saygıdeğer yüksek lisans hocam Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURGUN’ a, verdiği destekler sebebiyle annem Semra KIŞLAKÇI ile babam Hikmet KIŞLAKÇI’ ya çok teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] D. R. Dünder, İ. Sariççek, E. Çınar, and A. Yazici, “Kestirimci Bakımda Makine Öğrenmesi: Literatür Araştırması Machine Learning In Predictive Maintenance: Literature Research,” vol. 29, no. 2, pp. 256–276, 2021.
- [2] I. Lopes *et al.*, “Requirements specification of a computerized maintenance management system—a case study,” *Procedia Cirp*, vol. 52, pp. 268–273, 2016.
- [3] A. I. Vlasov, P. V Grigoriev, A. I. Krivoshein, V. A. Shakhnov, S. S. Filin, and V. S. Migalin, “Smart management of technologies: Predictive maintenance of industrial equipment using wireless sensor networks,” *Entrep. Sustain. Issues*, vol. 6, no. 2, pp. 489–502, 2018.
- [4] T. P. Carvalho, F. A. Soares, R. Vita, R. da P. Francisco, J. P. Basto, and S. G. S. Alcalá, “A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 137, p. 106024, 2019.
- [5] Z. M. Çınar, A. Abdussalam Nuhu, Q. Zeeshan, O. Korhan, M. Asmael, and B. Safaei, “Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0,” *Sustainability*, vol. 12, no. 19, p. 8211, 2020.
- [6] A. Cachada *et al.*, “Maintenance 4.0: Intelligent and

- predictive maintenance system architecture,” in *2018 IEEE 23rd international conference on emerging technologies and factory automation (ETFA)*, 2018, vol. 1, pp. 139–146.
- [7] U. Ozkaya, Ş. Öztürk, K. Tuna, L. Seyfi and B. Akdemir, "Faults Detection With Image Processing Methods In Textile Sector". in *1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 2018*.
- [8] P. Maintenance and F. O. R. Industry, “Endüstri için kestirimci bakım,” vol. 1, pp. 56–66, 2019.
- [9] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag, and M. Gidlund, “Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions,” *IEEE Trans. Ind. informatics*, vol. 14, no. 11, pp. 4724–4734, 2018.
- [10] H. Rashtian and S. Gopalakrishnan, “Using deep reinforcement learning to improve sensor selection in the internet of things,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 95208–95222, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2994600.
- [11] B. N. Kars, “Edge Computing Security with an IoT device,” vol. 1, no. June, pp. 14–17, 2021.
- [12] D. Kong, D. Liu, L. Zhang, L. He, Q. Shi, and X. Ma, “Sensor anomaly detection in the industrial internet of things based on edge computing,” *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 28, no. 1, pp. 331–346, 2020, doi: 10.3906/elk-1906-55.
- [13] “Akım trafosu nedir? Ne işe yarar? Nasıl çalışır? Nasıl seçilir?” .
- [14] “The Internet of Things with ESP32.” .
- [15] “Diğer W5500 Mini Ethernet Modül - 139,24 TL.” .
- [16] “Uzun / Kısa Süreli Bellek (Long / Short Term Memory) – Veri Bilimcisi.” .
- [17] “How to Learn Long-Term Trends with LSTM | by Michael Berk | Aug, 2021 | Towards Data Science.” .



Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Orta Dönem Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini: İskenderun Örneği

Merve Erkinay Özdemir

İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8864-385X), merve.erkinaoedemir@iste.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1007589)

ATIF/REFERENCE: Özdemir Erkinay, M. (2021). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Orta Dönem Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini: İskenderun Örneği. *European Journal of Science and Technology*, (28), 489-492.

Öz

Akıllı şebeke sistemlerinin son zamanlarda elektrik güç sistemlerinde kullanılması, güç sistemlerinin çalışması ve sürdürülebilirliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması elektrik enerjisi tüketimi tahminini oldukça önemli bir hale getirmiştir. Enerji tüketimini etkileyen doğrusal ve durağan olmayan özellikler enerji tüketim tahminini zorlaştırmaktadır. Orta dönem elektrik enerjisi tüketimi tahminleri 2 haftadan 3 yıla kadar olan tahminleri içermektedir ve güç sistemlerinin verimli çalışması, enerji ihtiyaçlarının doğru belirlenerek gerekli önlemlerin alınması ve bu alanda çalışan şirketlerin ihtiyaçlarının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada yapay sinir ağları kullanılarak İskenderun için orta dönem elektrik enerjisi tüketim tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen yapay sinir ağının İskenderun orta dönem elektrik enerjisi tüketim tahmini için kullanılabilirliğini ve bu modelin tahmin performansının yüksek olduğunu göstermiştir. Sonuçlar geliştirilen yapay sinir ağının yenilenebilir enerji teknolojileriyle ilgili yatırım yapan, faaliyet gösteren şirketler ve büyük devlet tesislerinin bu alandaki ihtiyaçlarını karşılayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Orta dönem, Elektrik enerjisi, Tüketim, Tahmin, Yapay sinir ağları.

Mid-Term Electrical Energy Consumption Forecasting Using Artificial Neural Networks: A case study for İskenderun

Abstract

The use of smart grid systems in electrical power systems, the operation and maintenance of power systems, and the increase in the use of renewable energy sources have made the estimation of electrical energy consumption very important. Linear and non-stationary features affecting energy consumption make energy consumption estimation difficult. Mid-term electrical energy consumption forecasting include forecastings from 2 weeks to 3 years and the efficient operation of power systems is very important in terms of determining the energy needs correctly and taking the necessary precautions and determining the needs of the companies working in this field. In this study, mid-term electrical energy consumption forecasting was made for İskenderun using artificial neural networks. The results showed that the developed artificial neural network can be used for mid-term electrical energy consumption forecasting for İskenderun and the forecasting performance of this model is high. The results showed that the developed artificial neural network can provide the needs of companies and big government facilities that invest in renewable energy technologies and operate in this field.

Anahtar Kelimeler: Mid-term, Electrical energy, Consumption, Forecasting, Artificial neural networks.

1. Giriş

Akıllı bilgi ve iletişim teknolojileri, mevcut ve gelecekteki küresel enerji sorunlarının ele alınması açısından oldukça önemli bir role sahiptir. Dünyanın başlıca enerji kaynakları petrol, doğal gaz, kömür, elektrik ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Son yıllarda, ekonomik ve nüfus artışı nedeniyle her bir enerji kaynağının tüketiminin çarpıcı biçimde arttığı açıktır. Enerji kaynaklarının büyük ölçekli tüketimi, yalnızca ekonomik ve nüfusun hızlı büyümesini yansıtmakla kalmamakta, aynı zamanda çevre kirliliğine de katkıda bulunmaktadır [1]. Çevre kirliliğini önleme ve enerji verimliliğini artırma girişimlerinin başarılı bir şekilde uygulanması, enerji tüketim verilerinin tanımlayan ve doğru enerji tüketimi tahmini yapan etkili bir enerji yönetimi ile sağlanabilir. Enerji tüketimi tahmini enerji yönetiminin temelini oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin günümüz enerji santralleri arasında artan payı ve akıllı şebeke sistemlerinin günümüzün elektrik güç sistemlerine mevcut entegrasyonu, enerji tahminini sadece enerji alanında popüler bir konu haline getirmekle kalmamakta, aynı zamanda sosyal aktiviteler, iklim ve mevsimsel faktörler gibi öngürüsü zor olan ve tahmini etkileyen faktörler nedeniyle oldukça zorlu ve önemli bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji tüketim tahmini, tahmin yapılan zaman periyoduna göre sınıflandırılmaktadır. Ultra kısa dönem elektrik enerjisi tüketimi tahmini 1 dakika ile 1 saat arası tahminleri, kısa dönem elektrik enerjisi tüketimi tahmini ise 1 saat ile 2 hafta arası tahminleri içerir. Orta dönem elektrik enerjisi tüketimi tahmini, 2 haftadan 3 yıla kadar tahminleri ve uzun vadeli elektrik enerjisi tahmini 3 yıldan 50 yıla kadar olan tahminleri içerir [2].

Uzun dönem elektrik enerjisi tüketim tahmini, bir ülkenin gelecekteki enerji talebi ve enerji politikasına uygun olarak uzun vadeli güç sistemi planlaması için kullanılmaktadır [3]. Orta dönem elektrik enerjisi tahmini, güç sistemindeki büyük tesislerin verimli çalışması ve bakımı için kullanılmaktadır [4]. Aynı zamanda, piyasadaki enerji ihtiyacı, bakım programı, yakıt tedariki ve yenilenebilir enerji teknolojileriyle ilgili yatırım için ihtiyaçlar hakkında değerli bilgiler sağlamasından dolayı, bu alanda faaliyet gösteren şirketler ve büyük devlet tesisleri tarafından kullanılmaktadır [5, 6]. Ultra kısa dönem ve kısa dönem elektrik enerjisi tahmini optimum birim taahhüdü, rezervlerin kontrolü ve birkaç şirket arasındaki satış veya satın alma sözleşmelerinin değerlendirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır [7, 8].

Enerji tüketimi tahmini için yapılan çalışmalar, genel olarak istatistiksel modeller ve yapay zeka tabanlı modeller olarak sınıflandırılabilir [9]. Yapay zeka teknolojisinin yükselişinden önce, enerji tüketimi tahmini için literatürde temel olarak zaman serisi modelleri ve regresyon modelleri gibi yöntemler kullanılmıştır [10,11]. Olağan günlük koşullar altında, istatistiksel tekniklerin iyi performansları vardır, ancak zamanla güncellenemezler, bu nedenle klimatolojik, ekonomik veya sosyolojik farklılıklar nedeniyle tatmin edici sonuçlar veremezler. Günümüzde yapay sinir ağları, destek vektör makinası, genetik algoritma gibi yöntemler doğrusal olmayan problemleri çözme konusunda güçlü bir yeteneğe sahip oldukları ve tahmin hatalarını azalttıkları için enerji tüketimi tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır [12, 13, 14].

Bu çalışmada yapay sinir ağları kullanarak İskenderun için aylık enerji tüketim tahmini yapılmıştır. Giriş bölümünden sonra materyal ve yöntem bölümünde çalışmada kullanılan veri seti, yapay sinir ağları ve sonuçları değerlendirme yöntemleri anlatılmıştır. Çalışmanın önemli sonuçları ve sonuçların değerlendirilmesi bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir. Son olarak çalışmanın ana sonuçları sonuç bölümünde özetlenmiştir.

2. Metaryal ve Yöntem

Bu bölümde İskenderun için aylık elektrik enerjisi tahmininde kullanılan veri seti, yapay sinir ağları ve sonuçları değerlendirmek için kullanılan ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) yöntemi anlatılmıştır

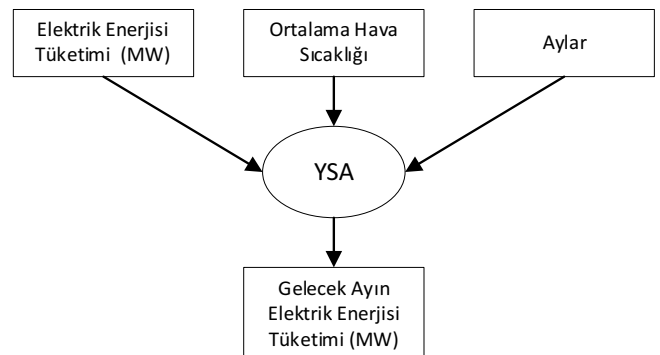
2.1. Veri Seti

Bu çalışmada aylık enerji tüketimi tahmini için 2011-2020 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama enerji tüketimi verileri kullanılmıştır. Yıllara göre aylık ortalama sıcaklık değerleri değişimi ve aylık ortalama enerji tüketim değerleri değişimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 2011-2020 yılları aylık ortalama sıcaklık değerleri değişimi ve aylık ortalama enerji tüketim değerleri değişimi

Aylar	Ortalama Sıcaklık Değişimi	Ortalama Enerji Tüketimi Değişimi
Ocak	9° -13°	43 MW-189.1 MW
Şubat	12° -15°	38 MW-188 MW
Mart	15° -20°	38.5MW-186.6 MW
Nisan	17° -23°	33.1 MW-151.1 MW
Mayıs	21° -25°	27.4MW-165.8 MW
Haziran	23° -26°	29.5MW-181.9MW
Temmuz	25° -36°	38.4MW-189 MW
Ağustos	26° -28°	38.2MW-188.5 MW
Eylül	25° -28°	29.3MW-161.6MW
Ekim	21° -25°	29.2MW-153.3MW
Kasım	15° -20°	36.5MW-176.3MW
Aralık	12° -15°	44.4MW-185MW

Çalışmada yapılan aylık elektrik enerjisi tüketim tahmini için geliştirilen yapay sinir ağlarının (YSA) giriş ve çıkışı için kullanılan veriler Şekil 1'de gösterilmiştir.

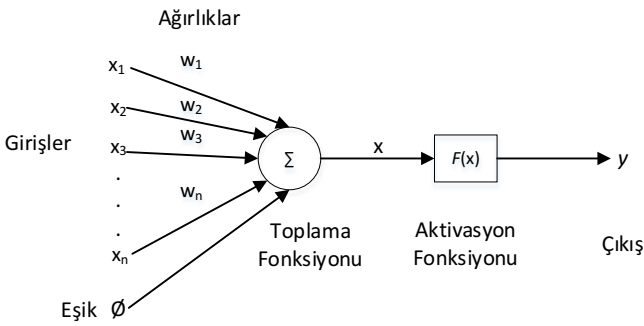


Şekil 1 Giriş ve çıkış verilerinin akış şeması

2.2. Yapay Sinir Ağları

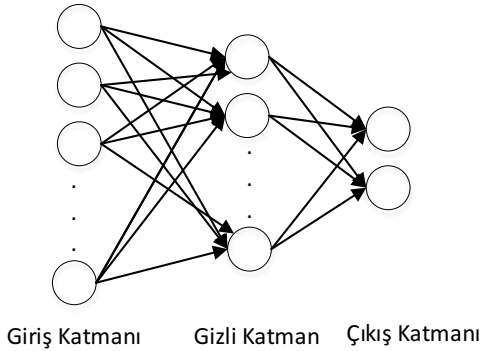
Yapay sinir ağları (YSA) örüntü tanıma, tanımlama, sınıflandırma, konuşma, görme ve kontrol sistemleri gibi birçok farklı uygulamada karmaşık problemleri çözmek için başarıyla kullanılan akıllı sistemlerdir [15]. YSA yapısı, insan beyninin biyolojik sinir sistemi anlayışına dayanmaktadır. YSA'lar, girdi ve çıktı uzayları arasındaki ilişkinin dinamikleri hakkında bilgi sahibi olmadan çok boyutlu bir girdi uzayının başka çok boyutlu çıktı uzayına doğrusal olmayan haritalanmasını gerçekleştirebilen "kara kutu" modelleme tekniğidir [16]. YSA'nın en basit ve en küçük birimi olan nöronlar, nöronlar ve ağırlık parametreleri arasındaki karmaşık davranışları yönetme yeteneğine sahiptir.

YSA modelleri temel olarak birbirlerine bağlı nöronlar ve düğümlerden oluşur. Yapay nöronlar, Şekil 2'de gösterildiği gibi giriş, ağırlık, eşik değeri, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere temel bileşenlere sahiptir.



Şekil 2. Yapay nöronun yapısı

Genel olarak ileri beslemeli çok katmanlı YSA'nın temel topolojisi Şekilde 3'de gösterildiği gibi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olacak şekildedir.



Şekil 3. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli

Temel bir YSA modelinde x_k girdisi bir ağırlıkla çarpılır ve bir eşik değeri eklenir. n adet giriş değeri için net giriş u_k denklem 1'de verildiği gibi hesaplanır;

$$u_k = \sum_{k=1}^n w_{jk} x_k - \phi_j \quad (1)$$

y_j çıkışını elde etmek için u_k lineer ya da lineer olmayan bir $f(x)$ transfer fonksiyonuna uygulanır. Ağın çıkışı matematiksel olarak denklem 2'de verildiği gibi hesaplanır;

$$y_j = f(\sum_{k=1}^n w_{jk} x_k - \phi_j) \quad (2)$$

Denklem 2'de n giriş sayısını, w_{jk} , j . nörona karşılık gelen k . girişin ağırlık değerini, ϕ_j uygulanan eşik değerini göstermektedir.

Çıkış y_j , denklem 3'de gösterilen hata fonksiyonu kullanılarak hedeflenen çıkış değeri d_j ile karşılaştırılır;

$$\delta_j = y_j(1 - y_j)(d_j - y_j) \quad (3)$$

YSA'nın eğitilmesi en önemli işlemlerden biridir. YSA'nın eğitilmesi uygun bir öğrenme yöntemi kullanılarak bağlantı ağırlıklarının belirli bir düzen içinde değiştirilmesi işlemi olarak açıklanabilir. Ağ, istenen çıktıyla birlikte bir girdinin ağa sunulduğu ve bu istenen çıktıyı üretmeye çalışacak şekilde ağırlıkların ayarlandığı bir öğrenme modu kullanır. Ağırlıklar ağ eğitilmeden önce rastgeledir ve herhangi bir anlam içermezler, ancak eğitimden sonra anlamlı bilgiler içerirler.

Eğitim için en çok kullanılan algoritmalarından biri geri yayılım algoritmasıdır. Bu algoritmada girişler ve elde edilmesi istenen çıkışlar ağa uygulanır ve çıkış elde edilir. Daha sonra ağın çıkışları ve istenen çıkışlar karşılaştırılarak hata bulunur. Bu işlem eğitim setindeki tüm verilere uygulanır ve epoch adı verilen bu eğitim döngüsü hata kabul edilebilir bir değere düşene kadar tekrarlanır [17]. Toplam hatayı azaltmak için; giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar güncellenebilir Hata denklem 4'de verildiği gibi çıkış katmanından giriş katmanına yani geriye doğru yayılır.

$$w_{jk}(t + 1) = w_{jk}(t) + \eta \delta_j y_j \alpha (w_{jk}(t) - w_{jk}(t - 1)) \quad (4)$$

Bu çalışmada geliştirilen YSA için çok katmanlı ileri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. Eğitim için geri yayılım algoritmalarından Levenberg -Marquardt (LM) algoritması kullanılmış olup, tanjant sigmoid (tansig) transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelinin doğruluğu, gizli katmandaki nöron sayısına, gizli katman sayısına, giriş kombinasyonlarına ve öğrenme algoritmasına bağlıdır.

YSA için veri tabanında bulunan 120 adet verinin %70'i eğitim %30'u test için kullanılmıştır. Test için seçilen 2019 ve 2020 yıllarının aylarına göre ortalama elektrik enerjisi tüketim tahmini yapılmıştır. Test için kullanılan verilerin hiç biri YSA'nın eğitimi için kullanılmamıştır.

Bu çalışmada kullanılan çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modelinde başlangıçta YSA'da kaç adet gizli katman olacağını ve her gizli katmanda kaç adet nöron olacağını belirlemek mümkün değildir. Gizli katman sayısı ve nöron sayısı deneme yanılma yolu ile belirlenir. Bu çalışmada gizli katman ve nöron sayısı yapılan denemelerden sonra en iyi sonuç alınacak şekilde belirlenmiştir. Bu sonuca göre 3 adet gizli katman kullanılmış olup her gizli katmanda sırasıyla 15, 16 18 adet nöron bulunmaktadır.

2.2. Ağın Performans Değerlendirme Kriteri

Ağın performansını değerlendirmek ve hatayı belirtmek için istatistiksel hata tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen YSA'nın sonuçlarını değerlendirmek için MAPE (Mean Absolute Percentage Error- ortalama mutlak yüzde hata) değerleri kullanılmıştır. Bu değerler denklem 5'de verildiği gibi hesaplanmaktadır;

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{t=1}^n |(x_t - x'_t)/x_t|}{n} \times 100 \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde x_t çıkış değerini, x_t' ise hedef çıkış değerini göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada geliştirilen YSA ile aylara göre enerji tüketimi tahmini için elde edilen ve yukarıda belirtildiği gibi hesaplanan MAPE değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Uygulanan YSA'nın performansı

Aylar	MAPE(%)
Ocak	5,8
Şubat	6,05
Mart	2,95
Nisan	4,24
Mayıs	5,21
Haziran	1,62
Temmuz	3,65
Ağustos	8,69
Eylül	3,06
Ekim	5,1
Kasım	5,8
Aralık	6,05

Tablo 2'deki sonuçlara göre MAPE değerleri bütün aylar için %10 değerinden küçük elde edilmiştir. Bu sonuçlar geliştirilen YSA'nın tahmin performansının oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar geliştirilen YSA'nın İskenderun orta dönem elektrik enerjisi tüketim tahmini için uygulanabileceğini ve bu modelin çok iyi tahmin yapabildiğini göstermektedir. Bölge için doğru bir şekilde yapılan orta dönem elektrik enerjisi tahmini, güç sistemindeki büyük tesislerin verimli çalışması ve bakımı için, piyasadaki enerji ihtiyacı, bakım programı, yakıt tedariki ve yenilenebilir enerji teknolojileriyle ilgili yatırım yapan ve bu alanda faaliyet gösteren şirketler ve büyük devlet tesislerinin bu alandaki ihtiyaçlarını karşılayabileceğini göstermektedir. Bu çalışma İskenderun bölgesi için bu alandaki eksikliği ve ihtiyacı karşılayan bir çalışma olmuştur.

4. Sonuçlar

Orta dönem elektrik enerjisi talebi tahmini günümüz güç sistemlerinin verimli çalışması, enerji ihtiyaçlarının doğru belirlenerek gerekli önlemlerin alınması ve bu alanda çalışan şirketlerin ihtiyaçlarının belirlenmesi açısından oldukça önem kazanmıştır. Bunun yanında elektrik enerjisi talebini etkileyen mevsimsel, sosyal ve iklimsel faktörlerden dolayı bu tahmini yapmak oldukça zordur.

Literatürde enerji tüketimi tahmini için genel olarak istatistiksel modeller ve yapay zeka tabanlı modeller kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar yapay zeka tabanlı yöntemlerin doğrusal olmayan problemleri çözme konusunda güçlü bir yeteneğe sahip olduklarını ve tahmin hatalarını azalttıklarını göstermiştir.

Bu çalışmada İskenderun bölgesi için yapay sinir ağıları kullanılarak orta dönem elektrik enerjisi tüketim tahmini yapılmıştır. Bunun için çok katmanlı ileri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen YSA'nın elektrik enerjisi tahminini doğru ve başarılı bir şekilde yapabildiğini göstermiştir.

Bu çalışmada kullanılan yöntem geliştirilerek başka bölgeler için de uygulanabilir ve yenilenebilir enerji teknolojileriyle ilgili

yatırım yapan, faaliyet gösteren şirketler ve büyük devlet tesislerinin bu konudaki ihtiyaçları giderilebilir.

Kaynaklar

- [1] J. L. Harris, L.M. Liu, "Dynamic structural analysis and forecasting of residential electricity consumption," Int. J. Forecast, vol. 9, pp.437-455, 2007.
- [2] T. Hong, S. Fan, "Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review," Int. J. Forecast, vol.32, pp.914-938, 2016.
- [3] A. Rahman, V. Srikumar, A.D. Smith. "Predicting electricity consumption for commercial and residential buildings using deep recurrent neural networks," Appl. Energy, vol.212, pp. 372-385, 2018.
- [4] Z. Yumurtaci, E. Asmaz, "Electric energy demand of Turkey for the year 2050," Energy Source, vol.26, pp.1157-1164, 2004.
- [5] Z. Shao, F. Gao, Q. Zhang, S. Yang, "Multivariate statistical and similarity measure based semiparametric modeling of the probability distribution: a novel approach to the case study of mid-long term electricity consumption forecasting in China," Appl. Energy, vol.156, pp. 502-518, 2015.
- [6] Z. Hu, Y. Bao, R. Chiong, T. Xiong, "Mid-term interval load forecasting using multioutput support vector regression with a memetic algorithm for feature selection," Energy, vol.84, pp. 419-431, 2015.
- [7] C. Cecati, J. Kolbusz, P. Rozycki, P. Siano, and B. M. Wilamowski. "A Novel RBF Training Algorithm for Short-Term Electric Load Forecasting and Comparative Studies," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 62, pp. 6519-6529, 2015.
- [8] S. M. Barakati, S. M. R Rafiei, A. A. Gharaveisi, "Short-Term Load Forecasting Using Mixed Lazy Learning Method," Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 23, pp 201-211, 2015.
- [9] K. Amber, R. Ahmad, M. Aslam, A. Kousar, M. Usman, M. Khan, "Intelligent techniques for forecasting electricity consumption of buildings," Energy, vol.157, pp. 886-893, 2018.
- [10] C. Deb, F. Zhang, J. Yang, S.E. Lee, K.W. Shah, "A review on time series forecasting techniques for building energy consumption," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.74, pp. 902-924, 2017.
- [11] E. Yiğit, U. Özkaya, Ş. Öztürk, D. Singh, H. Gritli, "Automatic Detection of Power Quality Disturbance Using Convolutional Neural Network Structure with Gated Recurrent Unit". Mobile Information Systems, 2021.
- [12] A. Ahmad, M. Hassan, M. Abdullah, H. Rahman, F. Hussin, F. H. Abdullah, R. Saidur, "A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consumption forecasting," Renew. Sustain. Energy Rev, vol.33, pp.102-109, 2014.
- [13] S.H.A. Kaboli, A. Fallahpour, J. Selvaraj, N. Rahim, "Long-Term Electrical Energy Consumption Formulating and Forecasting via Optimized Gene Expression Programming", Energy, vol. 126, pp 144-164, 2017.
- [14] J. Runge, R. Zmeureanu, "Forecasting Energy Use in Buildings Using Artificial Neural Networks: A Review," Energies, vol.12, 2019.
- [15] F. M. Ham, I. Kostanic, "Principles of Neurocomputing for Science and Engineering," New York, Mc-Graw Hill, 2001.
- [16] Y. Kung, Digital Neural Networks, PTR Prentice Hall, 1998.
- [17] B. Bose, "Neural Network Principles and Applications," Prentice Hall PTR, United States of America, 2002.



Son İşlem Algoritmaları İçin Web Tabanlı Yazılım Suiiti Geliştirilmesi

Didem Yosunlu¹, Erdiñç Avaroğlu^{2*}

¹ Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000 – 0001 – 6917 – 4912), didemoz80@gmail.com

^{2*} Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1976-2526), eavaroglu@mersin.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008063)

ATIF/REFERENCE: Yosunlu, D. & Avaroğlu, E. (2021). Son İşlem Algoritmaları İçin Web Tabanlı Yazılım Suiiti Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 493-499.

Öz

Son işlem algoritmaları üretilen rasgele sayıların istatistiksel özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan ve birçok rasgele sayı üreticinin ihtiyaç duyduğu bir aşamadır. Rasgele sayılara ihtiyaç duyan kullanıcılar rasgele sayı üreticilerine erişebilseler bile son işlem yöntemlerini uygulayabilmek için kullanabilecekleri hazır bir kaynak bulunmamaktadır. Uygulama geliştirme aşamalarını bilseler bile son işlem yönteminin yapısını incelemeleri ve sonrasında bu yöntemi koda dökerek geliştirmeleri hayli vakit alacaktır. Bu sıkıntıları gidermek ve ihtiyaç halinde kullanıcıların son işlem yöntemlerine hızlı erişimlerini sağlayabilmek adına seçili bazı algoritmaların bulunduğu, literatürde olmayan bir yazılım suiiti geliştirilmiştir. Kolay bir arayüz ile kullanıcı dostu olarak geliştirilen web uygulaması C# ile yazılmış ve tüm kullanıcıların ulaşabileceği şekilde yayınlanmıştır. Bu nedenle gerçek rasgele sayı üzerine çalışanlar için önemli bir kaynak olacaktır. Geliştirilen web tabanlı bu yazılıma son kullanıcılar postprocess.mersin.edu.tr adresinden erişebilir. Son işlem yazılımının sonuçlarını görebilmek amacıyla örnek saf bit dizileri yazılımdan geçirilerek üretilen son işlem sonuçları NIST (National Institute of Standards and Technology) testlerine tabi tutulmuştur ve tasarlanan yazılımın başarılı bir şekilde çalıştığı doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rasgele sayılar, Rasgele sayı üreticileri, Son işlem algoritmaları, Web tabanlı uygulama

Web-based Software Suit Development For Post Procesing Algorithms

Abstract

Post-processing algorithms are a step that is applied to improve the statistical properties of the generated random numbers and is needed by many random number generators. Even if users who need random numbers have access to random number generators, there is no readily available resource they can use to apply post-processing methods. Even if they know the application development stages, it will take a lot of time to examine the structure of the post-processing method and then code this method and develop it. A software suite, which does not exist in the literature, has been developed with some selected algorithms in order to eliminate these problems and to provide users with fast access to finishing methods when needed. The web application developed in a user-friendly way with an easy interface was written in C # and published in a way that all users can access. For this reason, it will be an important resource for those studying on true random numbers. The web-based software can be accessed by end users at postprocess.mersin.edu.tr. In order to see the results of the post-processing software, the results produced by passing the sample raw bit strings through the software were subjected to NIST (National Institute of Standards and Technology) tests and it was confirmed that the designed software works successfully.

Keywords: Random numbers, Random number generators, Post processing algorithms, Web-based application.

* Corresponding Author: eavaroglu@mersin.edu.tr

1. Giriş

Rasgelelik temelde tahmin edilemeyen anlamına gelmektedir. Rasgele sayılar ise belirli aralıkta tanımlanan, üretilme olasılığı eşit olan ve birbirinden bağımsız olan sayılardır. Bilgisayar bilimlerinde sıkça ihtiyaç duyulan bu sayılar özellikle kriptografi alanı için oldukça önemli bir yere sahiptir. Kriptolojik uygulamalarda anahtar üretimi ve kimlik doğrulama gibi güvenlik tarafı için kritik öneme sahip rasgele sayılar sistemin güvenliğini doğrudan etkilediği için tahmin edilememeli ve tekrar üretilmemelidir. Bu şekilde iyi istatistiksel özelliklere sahip rasgele sayılar üretilmesi amacıyla rasgele sayı üreteçleri geliştirilmeye başlanmıştır.

Rasgele sayı üreteçleri (RSÜ) üç ana sınıda ayrılmaktadır. Bunlar gerçek rasgele sayı üreteçleri (GRSÜ), sözde rasgele sayı üreteçleri (SRSÜ) ve hibrit rasgele sayı üreteçleridir. (HRSÜ)

Sözde rasgele sayı üreteçleri bir tohum değerini deterministik algoritmalarla tabi tutarak rasgele bit dizileri üretmektedirler. Fakat periyodik olabilmeye beraber periyodun açığa çıkması ile üretilen sayıların tamamen tahmin edilebilir olma durumu oluşmaktadır. Ayrıca tohum değerinin korunamaması da aynı duruma sebep olabilmektedir. Ancak hızlı ve ucuz olmalarından dolayı diğer birçok uygulamada tercih edilmektedir.

Gerçek rasgele sayı üreteçleri ise entropi kaynağı olarak faz gürültüsü, termal gürültü, titreşim, rastgele telgraf gürültüsü, fotoelektrik etki gibi deterministik olmayan fiziksel olaylar kullanılarak gerçek rasgele diziler oluştururlar. Bu kaynaklardan elde edilen sinyaller sayısallaştırılıp sonrasında örnekleme yapılarak rasgele sayılar elde edilir.

Hibrit rasgele sayı üreteçleri de yukarıda bahsedilen SRSÜ ve GRSÜ'nin beraber kullanıldığı sistemlerdir. Genel olarak GRSÜ'den elde edilen rasgele sayı SRSÜ'de tohum değeri olarak kullanılmaktadır (Avaroğlu ve Türk, 2013).

Üretilen rasgele sayıların rasgeleliği ve üreticinin kalitesi hakkında bilgi veren bazı testler bulunmaktadır. RSÜ'ler tarafından üretilen dizilerin rasgelelik kalitesinin değerlendirilmesinde İstatistiksel test paketleri çok önemli rol oynar. Üretilen rasgele sayılar her zaman iyi istatistiksel özellikler göstermemektedir. GRSÜ'de bu zayıflıkların giderilmesi amacıyla elde edilen bit dizileri son işleme tabi tutularak güçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Son işlem algoritmaları çıkış bit oranında azalmaya sebep olabilmesine rağmen üreticinin güvenliğini artırdığından dolayı birçok sistemde tercih edilmektedir. Son işlemin rasgele sayılar için bu denli önemli olmasından dolayı çok eskilerden beri bu konuda araştırmalar yapılmakta ve yeni yöntemler duyurulmaktadır. Fakat bu yöntemler çoğunlukla ya yazılı olarak açıklanmış ya da sözde kod olarak sunulmuştur. Bu sebeple kullanmak isteyenlerin kendilerinin bu yöntemleri uygulanabilir hale getirmesi gerekmektedir.

Bu makalede, sık kullanılan son işlem algoritmalarından bazıları seçilerek ASP.NET C# programlama dili ile geliştirilen, herkesin her ortamdan ulaşabileceği ve kolaylıkla kullanılabileceği bir web uygulaması sunulmaktadır. Uygulamanın kolay erişilebilir, kolay uygulanabiliyor olması ve literatürde benzer bir örneğinin olmaması sebebiyle önemli bir kaynak olacaktır.

(Avaroğlu ve ark., 2015)'de halka osilatörün donanımsal uygulaması sonucu elde edilen bit dizisi ile (Avaroğlu ve ark., 2014)'te kaotik çekerler kullanılarak elde edilen bit dizileri geliştirilen yazılım üzerinde kullanılarak yazılımın başarılı bir e-ISSN: 2148-2683

şekilde çalıştığı gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar NIST testlerine tabi tutulmuştur.

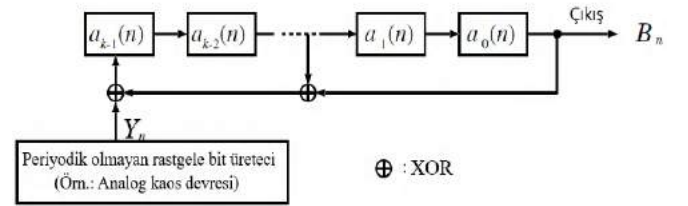
Bölüm 2'de literatür taraması yapılarak son yıllarda önerilmiş olan son işlem yöntemleri açıklanmaktadır. Bölüm 3'te uygulamaya dahil edilen son işlem algoritmalarından detaylı olarak bahsedilirken Bölüm 4'te geliştirilen yazılımın detayları yer almaktadır. Bölüm 5'te ise sonuç bölümü verilmektedir.

2. Literatür Taraması

TRNG sistemlerinde oluşturulan rastgele sayıların istatistiksel özelliklerini iyileştirmek için günümüze kadar çeşitli son işlem algoritmaları önerildi. Bunlardan bazıları resilient fonksiyonu, Doğrusal Beslemeli Kayan Yazmaç, Lojistik Harita, SHA-256, Trevisan's extractor, Toeplitz hashing, Keccak algoritması, Trivium algoritması.

Sunar ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada halka osilatörlerinin kullanıldığı bir GRSÜ'de son işlem algoritması olarak resilient fonksiyon kullanılmıştır. Resilient fonksiyon için bilinen bir genişletilmiş BCH kodu olan [256, 16, 113] kodu kullanılmaktadır. 114 halka osilatörden alınan çıkış bit dizileri 256 bitlik bloklara ayrılarak resilient fonksiyona verilir ve 16 bit rasgele sayı dizisini çıkış olarak verir. Saldırıya karşı güçlü olmasına karşın veri kaybı 1/16 oranındadır (Sunar ve ark., 2007).

Bir diğer son işlem yöntemi Doğrusal Beslemeli Kayan Yazmaç (Linear Feedback Shift Register). Uygulamasının kolay ve kullanışlı olması açısından, iyi istatistiksel özelliklere sahip diziler üretmesi ve geniş tekrarlamaya periyoduna sahip olmasından dolayı birçok uygulamada son işlem yöntemi olarak sıkça tercih edilmektedir. (Tsuneda ve ark., 2008)'de k hafıza hücresine sahip doğrusal beslemeli kayan yazmaç ve periyodik olmayan bir rasgele sayı üreticisi kullanılarak geliştirilen bir rasgele sayı üreticisi önerilmiştir. Şekil 1'deki gibi bir yapı kullanılarak rasgele sayıların periyodikliğinin giderilmesi amaçlanmıştır. (Tsuneda ve Morikawa, 2013) ve (Kyaw ve Tsuneda, 2017)'de de tasarım üzerine çalışılarak üreticisi geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda önerilen son işlem algoritmasının k büyük olduğunda çok etkili olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1. DBKY kullanılan RSÜ'nün genel yapısı

Lojistik harita ise donanım üzerinde uygulaması kolay olan, bir başlatma koşulu ve bir kontrol parametresi gerektiren birinci dereceden bir denklemdir (Avaroğlu ve ark., 2015). Makalede Sunar ve arkadaşı tarafından geliştirilmiş olan TRNG kullanılmıştır (Sunar ve ark., 2007). Fakat makalede kullanılan resilient fonksiyon 1/16 oranında azalmaya sebep olduğundan dolayı yeni bir son işlem algoritması önerilmiştir. Lojistik haritanın son işlem olarak kullanılması, saldırılara karşı daha güvenli bir sistem sağlar. Literatürdeki birçok işlem sonrası yöntem veri hızını düşürürken, önerilen son işlem veri hızını azaltmamaktadır. Bu sistemin bir diğer faydası da rasgelelik kaynağından kaynaklanan korelasyonun lojistik harita kullanımı

ile ortadan kaldırılabilir. Fakat sistemin yüksek güç tüketimine sahip olması bir dezavantajdır.

Önerilen bir diğer son işlem yöntemi ise SHA-256'dır (Loza ve Matuszewski, 2014). Bu makalede GRSÜ'nün entropi kaynağı olarak halka osilatörler kullanılmıştır. Üretilen bitler 8 bitlik bloklara ayrılmıştır ve her blok 64 byte büyüklüğünde FIFO içerisinde saklanmıştır. Önerilen son işlem sonucunda 8 tane 32 bitlik kelime (256 bit toplam) üretilir.

Güvenlik konusunda oldukça başarılı olan extractor üzerine ise birçok çalışma bulunmaktadır. Kısaca tanımlamak gerekirse extractor, katalizör olarak az sayıda ek rastgele bit kullanarak zayıf bir rastgele kaynaktan gerçek rastgele bitleri (neredeyse) çıkaran bir fonksiyondur. Trevisan, sözde rasgele sayı üreteçlerine dayalı rasgelelik çıkarıcıları oluşturmak için bir yaklaşım önerdi (Trevisan, 2001). Daha sonra Raz ve arkadaşları (Raz ve ark., 2002) tarafından bu sistem daha da geliştirilmiştir.

Bir başka extractor ise Wegman'ın önerdiği Toeplitz hashing matris (Wegman ve Carter, 1981). Toeplitz Hash Algoritması, anahtarın matris çarpımı yoluyla uygun bir Toeplitz matrisi ile hash değerlerini hesaplayan hash fonksiyonlarını açıklar. Fakat Toeplitz hash rasgelelik çıkarıcısı, bilgisayar seri hesaplamalarında uygulandığında çok fazla zaman harcayacağından büyük miktarda hesaplama gerektirir. Cihaz ve veri toplama tekniklerinin gelişmesiyle birlikte ham rastgele sayı üretme hızı yükseltilirken mevcut rasgelelik çıkarma hızı talebin büyümesini karşılayamaz. Bu nedenle (Zhang ve ark., 2016)'da extractor FBGA üzerinde uygulanarak hızını arttırmak amaçlanmıştır.

Bir diğer çalışmada ise, özetleme algoritmaları sınıfından olan keccak algoritması kullanılmıştır. Rasgele üretimi için keccak algoritması kullanılırken güvenliği arttırmak için ek girdi olarak halka osilatörler kullanılmıştır (Yakut ve ark., 2019). Önerilen sistemde, 1024 bitlik rasgele sayı dizisi elde edilemek amacıyla ek girdi olarak 512 bit ham gerçek rasgele sayı alınmıştır.

Yakut ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer makalede ise 1600 bit sayı dizisi üretebilmek amacıyla yine keccak algoritması kullanılmıştır.

(Kaya, 2020) Trivium algoritmasını son işlem olarak kullanmıştır. Çok hızlı bir şekilde çalışan Trivium algoritması üretilen sayı dizisi üzerinde çok önemli istatistiksel değişikliklere yol açar. Esnek bir uygulama alanına sahip olması sebebiyle sıklıkla tercih edilen bir algoritma olmuştur. Trivium algoritması yapılan çalışmalarla saldırılara karşı dayanıklı olduğunu gösterirken veri kaybının olmaması da önemli bir avantajdır.

3. Son İşlem Algoritmaları

Geliştirilen rasgele sayı üreteçleri ile elde edilen ham bit dizilerinin bazıları zayıf istatistiksel özellikler gösterebilmektedirler. Bu zayıflığın giderilmesi amacı ile üretilen bu bit dizilerine son işlem algoritmaları uygulanmaktadır. Uygulanan son işlem algoritmasına bağlı olarak bu sistemler, çevresel değişikliklere ve saldırılara karşı dirençli hale gelirken üreticinin güvenliği de buna bağlı olarak artmaktadır. Uygulanan bazı son işlem algoritmaları çıkış bit oranında azalmaya sebep olabilmesine rağmen üreticinin entropisini arttırdığından dolayı birçok sistemde kullanılmaktadır.

Bölüm 2'de de bahsedildiği gibi son işlem algoritmaları üzerine birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam e-*ISSN: 2148-2683*

edilmektedir. Fakat önerilen yöntemlerin bazıları teoride kalırken bazılarının ise uygulamaya dökülmesi kodlama bilgisi olmayan ya da uygulama geliştirmek için vakti bulunmayan araştırmacılar için oldukça zordur. Bu sebeple bu çalışmada en sık kullanılan son işlem yöntemleri arasından sekiz tanesini seçerek hepsinin bir arada bulunduğu bir yazılım süiti geliştirildi. Seçilen algoritmalar aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

3.1. XOR Algoritması

Uygulama kolaylığı bakımından en sık kullanılan son işlem yöntemi olan XOR algoritması, rasgelelik kaynağından elde edilen bit dizisinin n bitlik (n=2) bloklara ayrılarak her bloğun kendi içerisinde XOR işlemine tabi tutularak 1 bitlik çıkış vermesi işlemidir (Davies, 2002). Çıkış bit verimini 1/n oranında azaltan bu yöntem üreteç tarafından üretilen bitlerden kaynaklı biası azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1'de XOR algoritmasının son işlem çıkış durumları verilmiştir.

Tablo 1. XOR Son işlem

Bit Dizisi	XOR Çıkışı
00	0
01	1
10	1
11	0

3.2. Von Neumann Algoritması

Bit dizilerindeki korelasyonu gidermek için Von Neumann tarafından önerilmiş ilk ve en eski son işlem algoritmasıdır. (Suresh ve Burleson, 2010). Bu son işlem algoritmasında da tablo 2'de gösterildiği gibi üretilen bit dizileri 2 bit olarak alınır ve bit dizisi (1,0) ise çıkış biti 1, eğer bit dizisi (0,1) ise çıkış biti 0 olarak çıkışa verilir. (0,0) ve (1,1) durumlarında ise çıkış verilmaz.

Tablo 2. Von Neumann Son işlem

Bit Dizisi	Von Neumann Çıkışı
00	Çıkış yok
01	0
10	1
11	Çıkış yok

3.3. H Fonksiyonu

Bir diğer son işlem yöntemi ise Dichtl tarafından önerilen, Quasigroup dizi dönüşümüne dayalı olan H son işlem algoritmasıdır (Dichtl, 2007). 16 bit giriş bitinden 8 bit çıkış elde edilir. Son işlem için giriş bitleri $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{15}$ şeklinde tanımlanmaktadır. b_0, b_1, \dots, b_7 ise $b_i = a_i \oplus a_{(i+1) \bmod 8}$ ile tanımlanmaktadır. Çıkış bit dizisi olan c_0, c_1, \dots, c_7 ise $c_i = b_i \oplus a_{(i+8)}$ ile tanımlanır. 16 bit giriş dizisi a1 ve a2 olarak ayrılır ve Eş. 1 uygulanarak çıkış elde edilir.

$$H(a_1, a_2) = \text{XOR}(\text{XOR}(a_1, \text{rotateleft}(a_1, 1)), a_2) \quad (1)$$

Daha sonra H fonksiyonu geliştirilerek Eş. 2' te gösterilen H2 ve Eş. 3'te gösterilen H4 fonksiyonları tanımlanmıştır.

$$H2(a1, a2) = \text{XOR}(\text{XOR}(\text{XOR}(a1, \text{rotateleft}(a1,1)), \text{rotateleft}(a1,2)), a2)$$

$$H4(a1, a2) = \text{XOR}(\text{XOR}(\text{XOR}(\text{XOR}(a1, \text{rotateleft}(a1,1)), \text{rotateleft}(a1,2)), \text{rotateleft}(a1,4)), a2)$$

Uygulamaya H, H2 ve H4 fonksiyonları dahil edilmiştir.

3.4. SBOX

SBOX, DES şifreleme algoritmasında kullanılmaktadır. (Avaroğlu ve Tuncer, 2020) tarafından yapılan çalışmada SBOX son işlem algoritması olarak önerilmiştir. SBOX son işlem algoritmasında tablo 3 'te verilen değerler kullanılmaktadır. DES 'teki SBOX kendisine gelen 6 biti alır ve 4 bit çıkış verir. Bu işlemin nasıl yapıldığı aşağıda bir örnek üzerinden açıklanmıştır.

Tablo 3. S1 Kutusu

S1																
	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
00	14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7
01	0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8
10	4	1	14	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0
11	15	12	8	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13

3.5. Mixing Bits in Steps and XORing of Adjacent Bits

Önerilen bir diğer son işlem yöntemi de 2016'da Nikolic ve Veinovic tarafından üretilen bit dizisinin entropisini arttırmak için ve dizideki düzeni sağlamak amacıyla Mixing Bits in Steps and XORing of Adjacent Bits algoritmasını önermişlerdir. (Nikolic ve Veinovic, 2016). Kurulan sistemin 3 aşaması bulunmaktadır.

İlk olarak entropi kaynağından gelen analog sinyaller örneklenmektedir. Daha sonra elde edilen düzensiz bit dizilerinin düzeltilmesi amacıyla son işlem algoritmasından geçirilmiştir. Algoritmanın adımları aşağıda verilmiştir:

- 1.adım: Karıştırma algoritması girişe gelen ilk 2 biti alır.
- 2.adım: İlk 2 bitin arasına 3. bit yerleşir.
- 3.adım: 3 ve 2. Bit arasına 5.bit konulur. Bu durumda görünüm $x1; x4; x3; x5; x2$ olacaktır.
- 4.adım: 1 ve 4. Bit arasına 6.bit;
2 ve 5 arasına 7. Bit;
4 ve 3 arasına 8.bit;
- 5 ve 3 arasına 9.bit yerleştirilir.
- 5.adım: $x1; x6; x4; x8; x3; x9; x5; x7; x2$ olarak son düzen ortaya çıkar.

Örnek Bit Dizisi:

01101010011010111010101110101011100000101100001

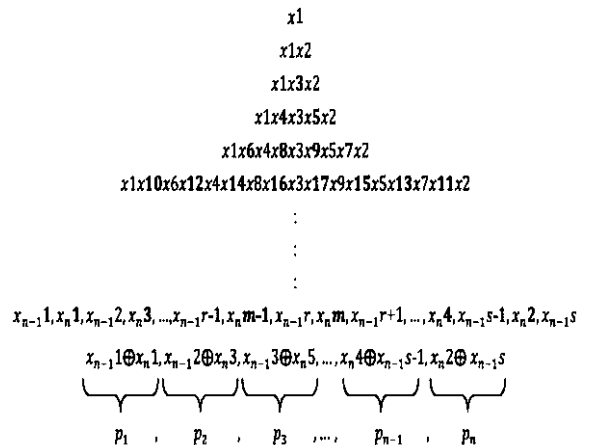
1

1. Adım: İlk 6 bitlik bloğu alıyoruz ve 1. bit ile 6. biti aralık satırımızı buluyoruz. (00->0)
2. Adım: Arada kalan bitler ile sütun belirliyoruz. (1101->13)
3. Adım: S1 kutusunda 1. ve 2. adımda denk gelen değeri buluyoruz. Tabloda karşılık gelen değerini ikili gösterimi bizim çıkış dizimizi oluşturmaktadır. (9->1001)
4. Adım: Tüm blokları bu şekilde işleyene kadar bu işlemleri tekrar ediyoruz ve 48 bitlik giriş dizisi için 32 bit çıkış dizisi üretiyoruz.

Çıkış Bit Dizisi:

10011000101110010110001100101111

İşlemler tamamlandıktan sonra komşu bitlere XOR işlemi uygulanarak son bit dizisi elde edilir. İstatistiki açıdan iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.



Şekil 2. Mixing Bits in Steps and XORing of Adjacent Bits yöntemi gösterimi

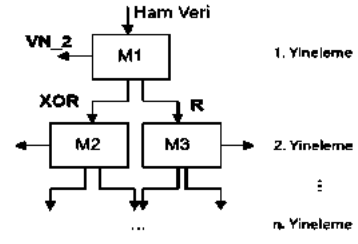
3.6. Iterating Von Neumann

1992'de Iterating Von Neumann (IVN) yöntemi ortaya konulmuştur (Peres, 1992). Bu yöntemde IVN, atılan bitleri toplayıp onları bir sonraki aşamaya yollayarak tekrardan kullanılmaktadır. IVN modülünün 3 bloğu aşağıda gösterilmiştir.

1. VN_2 (giriş çifti "01" veya "10" ise, ardından "0" veya "1" çıkışı verir, diğerleri çıkış olmaz)

2. XOR işlemine tabi tutulur.
3. R ('00' ise '0', '11' ise '1' çıktı, diğerleri çıktı olmaz)

XOR ve R işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen veri tekrar işlenmemiş veri olarak bir sonraki yinelemeye verilir.



Şekil 3. Iterating Von Neumann

4. Geliştirilen Yazılım

RSÜ ve son işlem algoritmaları son yıllarda birçok araştırmacı tarafından kullanılan bir alandır. Son işlem algoritmaları konusunda birçok makalede yeni öneriler sunulmuştur. Ancak bu son işlem algoritmalarının yazılım ortamında bir arada sunulması sağlanmamıştır ve yazılım geliştirme konusuna uzak olan kişiler için oldukça zor olacaktır.

Yukarıda açıklanan sebepler nedeniyle kullanıcı dostu ve rasgele sayı üreteçleri konusunda çalışan araştırmacıların rahatlıkla kullanabilecekleri bir yazılım ortamı geliştirilmiştir. Uygulama güncel, kolay kullanıma sahip ve etkili olmasından kaynaklı ASP.NET web geliştirme ortamı ile birlikte C# dili ve Bootstrap tasarım aracı ve MVC yazılım geliştirme mimarisi kullanılmıştır. Herhangi ek bir kurulumla ihtiyaç duymayan bu uygulamaya bir browser aracılığı ile internet bağlantısı olan tüm cihazlardan erişilebilmektedir. Uygulamanın arayüz tasarımı Şekil 4'te verildiği gibidir.



Şekil 4. Arayüz tasarımı

Kullanıcıların rahatlıkla kullanabilmesi açısından oldukça kullanıcı dostu ve sade bir arayüz tasarlanmıştır. Yazılım arayüzünde gerçekleştirilmesi istenen işlem doğrultusunda, 8 tane buton bulunmaktadır. Bu butonlarda son işlem yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar; H, H2 ve H4 algoritmaları, XOR algoritması, Von Neumann algoritması, SBOX, Mixing Bits in Steps and XORing ve Iterating Von Neumann algoritmalarıdır.

Arayüzde kullanıcının yapması gereken içinde rasgele sayı kaynağından elde edilmiş bit dizisi bulunan .txt formatında bir dosyayı sisteme yüklemek, istenen son işlem algoritmasını

seçmek ve dönüştürme işlemini başlatmaktır. Sistem dosya içerisindeki bit dizisine seçilen son işlem yöntemini uygulayarak algoritma ile aynı isimde ve yine .txt formatında bir dosya üretir.

Tasarlanan yazılımı test etmek amacı ile (Avaroğlu ve ark., 2015) ve (Avaroğlu ve ark., 2014) makalelerinden alınan saf bit dizileri yazılım üzerinde son işlem algoritmalarına tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrası elde edilen bit dizileri NIST testine tabi tutularak sonuçlar Tablo 4 ve 5 'de verilmiştir.

Tablo 4. (Avaroğlu ve ark., 2015) makalesi kullanılarak üretilen bit dizisine uygulanan test sonuçları

	Saf bit	Xor	Vonneumann	H	H2	H4	Sbox	İtervanneu	Mixing
Frekans Testi	-	-	0,359	0,345	0,634	0,651	0,649	0,314	-
Blok Frekans Testi	-	-	0,589	0,932	0,244	0,812	0,128	0,341	0,044

Akış Testi	-	-	0,079	0,392	0,328	0,735	0,190	0,569	0,828
En Uzun Birler Testi	-	-	0,379	0,046	0,269	0,579	0,143	0,325	0,434
İkili Matris Rankı Test	0,454	0,785	0,990	0,280	0,128	0,148	0,574	0,545	0,272
Ayrık Fourier Testi	0,028	0,284	0,088	0,969	0,613	0,184	0,326	0,976	0,189
Örtüşmeyen Şablon Eşleştirme	-	0,016	0,023	0,752	0,076	0,328	0,134	0,336	0,261
Örtüşen Şablon Eşleştirme Testi	-	0,282	0,332	0,166	0,519	0,558	0,443	0,224	0,749
Maurer Testi	-	0,217	0,150	0,563	0,164	0,464	0,698	0,219	0,142
Doğrusal Karmaşıklık Testi	0,625	0,577	0,980	0,347	0,782	0,689	0,285	0,979	0,064
Seri Testi	-	0,354	0,765	0,163	0,522	0,372	0,438	0,424	0,185
Yaklaşık Entropi Testi	-	0,022	0,174	0,135	0,132	0,654	0,130	0,898	0,095
Kümülatif Toplamlar Testi	-	-	0,290	0,195	0,794	0,423	0,315	0,166	-

Tablo 5. (Avaroğlu ve ark., 2014) makalesi kullanılarak üretilen bit dizisine uygulanılan test sonuçları

	Saf bit	Xor	Vonneumann	H	H2	H4	Sbox	İtervanneu	Mixing
Frekans Testi	0,645	-	0,423	0,614	0,595	0,483	0,030	0,733	0,065
Blok Frekans Testi	-	-	0,451	0,829	0,087	0,987	0,059	0,463	0,071
Akış Testi	-	-	-	0,058	0,072	0,655	0,062	-	0,121
En Uzun Birler Testi	-	-	-	0,929	0,679	0,532	0,121	-	0,093
İkili Matris Rankı Test	0,684	0,584	0,231	0,631	0,587	0,963	0,832	0,680	0,267
Ayrık Fourier Testi	-	-	0,088	0,035	0,343	0,556	0,168	0,758	0,681
Örtüşmeyen Şablon Eşleştirme	-	-	-	0,563	0,796	0,878	0,158	0,133	0,072
Örtüşen Şablon Eşleştirme	-	-	0,975	0,870	0,989	0,160	0,054	-	0,383
Maurer Testi	-	-	0,243	0,624	0,342	0,444	0,852	0,697	0,658
Doğrusal Karmaşıklık Testi	0,678	0,547	0,254	0,867	0,862	0,826	0,591	0,327	0,589
Seri Testi	-	-	0,126	0,185	0,991	0,930	0,667	0,182	0,360
Yaklaşık Entropi Testi	-	-	-	0,133	0,974	0,816	0,541	0,063	0,436
Kümülatif Toplamlar Testi	0,721	-	0,178	0,944	0,625	0,679	0,033	0,781	0,071

5. Sonuç

Rasgele sayılarda son işlem algoritmaları alanında eksik gördüğümüz bir kısım olan bu uygulama bu alanda çalışan araştırmacılar için oldukça faydalı olacaktır. Henüz bir benzeri geliştirilmeyen bu uygulama kullanıcının bir rasgelelik kaynağından elde ettiği ham rasgele bitleri seçtiği son işlem algoritmasından geçirerek daha iyi istatistiksel özelliklere sahip rasgele sayılar elde etmesini sağlamaktadır. Uygulamanın herhangi bir kurulum ya da ek programlar gerektirmemesi, sadece bir browser üzerinden erişebilir ve basit bir arayüze sahip olması kullanıcılar için oldukça büyük kolaylık sağlamaktadır. Gerçekleştirilen web tabanlı yazılıma son kullanıcılar tarafından "postprocess.mersin.edu.tr" adresinden ulaşılarak, gerçek rasgele sayı üreteçlerinden elde edilen saf bit dizilerinin son işlem sonuçları alınabilecektir.

Kaynakça

Avaroğlu E., Türk M., (2013). Son İşlemin Gerçek Rasgele Sayı Üreteçleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. *6th International Information Security and Cryptology Conference, ISCTURKEY 2013*, 290–294.

Avaroğlu E., Tuncer T., Özer A.B., Ergen B., Türk M., (2015). A novel chaos-based post-processing for TRNG. *Nonlinear Dynamics*, 81, 189–199.

Avaroğlu E., Tuncer T., Özer A.B., Türk M., (2014). A new method for hybrid pseudo random number generator. *J. Microelectron. Electron. Compon. Mater.*, 4(4), 303–311.

Sunar B., Martin W. J., Stinson D. R., (2007). A Provably Secure True Random Number Generator with Built-in Tolerance to Active Attacks. *IEEE Transactions on Computers* 2007, 56 (1), 109–119.

Tsuneda A., Mitsuishi S., Inoue, T., (2008). A Study on Generation of Random Bit Sequences with Post-Processing by Linear Feedback Shift Registers. *International Journal of Innovative Computing, Information & Control*, 4(10), 2631–2638.

Tsuneda, A., Morikawa, K., (2013). A Study on Random Bit Sequences with Prescribed Auto-Correlations by Post-Processing Using Linear Feedback Shift Registers. *2013 European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD)*.

Kyaw T.N.N., Tsuneda A., (2017). Generation of chaos-based random bit sequences with prescribed auto-correlations by post-processing using linear feedback shift registers. *NOLTA* 2017, 8, 224–234.

- Loza S., Matuszewski L., (2014). A True Random Number Generator Using Ring Oscillators and SHA-256 as Post-Processings. *In International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES) 2014*, 1–4.
- Trevisan L., (2001). Extractors and pseudorandom generators. *Journal of the ACM*, 48(4), 860–879.
- Raz R., Reingold O., Vadhan S., (2002). Extracting all the Randomness and Reducing the Error in Trevisan’s Extractors. *Journal of Computer and System Sciences*, 65(1), 97–128.
- Wegman M. N., Carter, J. L., (1981). New hash functions and their use in authentication and set equality. *Journal of Computer and System Sciences*, 22(3), 265–279, 1981.
- Zhang X., Nie Y., Liang H., Zhang J., (2016). FPGA implementation of Toeplitz hashing extractor for real time post-processing of raw random numbers. *2016 IEEE-NPSS Real Time Conference (RT)*, Padua 2016, 1-5, doi: 10.1109/RTC.2016.7543094.
- Yakut S., Tuncer T., Özer A. B., (2019). Secure and Efficient Hybrid Random Number Generator Based on Sponge Constructions for Cryptographic Applications. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 25(4), 40–46.
- Yakut S., Tuncer T., Özer A. B., (2020). A New Secure and Efficient Approach for TRNG and Its Post-Processing Algorithms. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 29(15).
- Kaya T., (2020). Memristor and Trivium-based true random number generator. *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, 124071.
- Davies R. B., (2002). Exclusive OR (XOR) and hardware random number generators. <http://www.robertnz.net/pdf/xor2.pdf>.
- Suresh V. B., Burleson W. P., (2010). Entropy extraction in metastability-based TRNG. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Hardware-Oriented Security and Trust (HOST)*, 135–140.
- Dichtl M., (2007) Bad and Good Ways of Post-processing Biased Physical Random Numbers. *Proceedings of International Workshop on Fast Software Encryption (Luxembourg, Luxembourg, Mar. 26-28, 2007), FSE '07. Lecture Notes in Computer Science*, 4593, Springer, Berlin, Germany, 137–152.
- Avaroğlu E., Tuncer T., (2020). A novel S-box-based postprocessing method for true random number generation. *Turk. J. Elec. Eng. & Comp. Sci.*, 28, 288–301.
- Nikolic S., Veinovic M. D., (2016). Advancement of True Random Number Generators Based on Sound Cards Through Utilization of a New Post-processing Method. *Wireless Personal Communications*, 91(2), 603–622.
- Peres Y., (1992). Iterating Von Neumann’s Procedure for Extracting Random Bits. *Annals Statistics*, 20(1), 590–597.



Trends in Misuse of Agricultural Lands in Erzurum Plain of Eastern Turkey

Müdahir Özgül¹, Emre Çomaklı^{2*}

¹Ataturk Univ. Fac. of Agric. Dept. of Soil Sci.& Plant Nutr. 25240 Erzurum, Turkey (ORCID:0000-0002-5855-0086), mozgul@atauni.edu.tr

^{2*}Ataturk Univ. Environmental Problems Res. and App. Center, 25240, Erzurum, Turkey (ORCID:0000-0001-8477-7076), emrecomakli@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008168)

ATIF/REFERENCE: Özgül, M., Çomaklı, E. (2021). Trends in Misuse of Agricultural Lands in Erzurum Plain of Eastern Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (28), 500-505.

Abstract

Natural resource conservation, sustainable land management, adaptation to climate change, and increasing ecosystem resistance are the main research issues in the last decades. The objective of this study was to assess the quantity and the trends in misuse of agricultural lands within the 8-year period (2010-2018) in Erzurum, the 4th largest province of Turkey. A total of 488 454 hectares of agricultural land, of which 143 842 hectares are “the most suitable for cultivated agriculture-S1” and 344 612 hectares “suitable for cultivated agriculture-S2”, were defined for Erzurum province. These two classes of agricultural lands occupy 19.6% of the province's total land assets. The amount of land occupied in Erzurum plain in the period of 2000-2018 is 13 161 decares. Approximately 40% of the occupied land (3 833 decares) are in I and II. Class lands. Some of the physical and chemical properties of the soil change depending on the land use changes in productive agricultural lands for various reasons. These changes also affect the amount of carbon capture in soils, making soils vulnerable to the effects of climate changes. In this context, it is necessary to develop sustainable agricultural land use policies. Legal and institutional arrangements to be made should primarily aim to protect agricultural lands and increase their productivity.

Keywords: Erzurum plain, misuse of agricultural lands, land capability classification

Erzurum Ovasındaki Tarım Arazilerinin Amaç Dışı Kullanımındaki Eğilimler

Öz

Doğal kaynakların korunması, sürdürülebilir arazi yönetimi, iklim değişikliğine uyum ve ekosistem direncinin artırılması son on yılın temel araştırma konularıdır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin 4. büyük ili olan Erzurum'daki tarım arazilerinin 8 yıllık dönem içerisindeki (2010-2018) miktarlarını ve amaç dışı kullanım eğilimlerini değerlendirmektir. Erzurum ili için 143.842 hektarı "ekili tarıma en uygun-S1" ve 344.612 hektarı "ekili tarıma uygun-S2" olmak üzere toplam 488 454 hektar tarım arazisi tanımlanmıştır. Tanımlanan bu iki tarım arazisi sınıfı, ilin toplam arazi varlığının %19,6'sını oluşturmaktadır. Erzurum ovasında 2000-2018 döneminde işgal edilen arazi miktarı 13 161 dekar'dır. Amaç dışı kullanılan arazilerin yaklaşık %40'ı (3 833 dekar) I ve II. sınıf tarım arazileridir. Verimli tarım arazilerinde çeşitli nedenlerle arazi kullanım değişikliklerine bağlı olarak toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmektedir. Aynı zamanda bu değişiklikler toprakların karbon tutma miktarını da etkileyerek, toprakları iklim değişikliklerinin olumsuz etkilerine karşı savunmasız hale getirmektedir. Bu bağlamda sürdürülebilir tarımsal arazi kullanım politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Yapılacak yasal ve kurumsal düzenlemeler, öncelikle tarım arazilerinin korunmasını ve verimliliklerinin artırılmasını amaçlamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Erzurum ovası, tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı, arazi kullanım kabiliyet sınıflandırması.

1. Introduction

Global climate change, population growth, urbanization, and industrialization cause serious land degradation in many parts of the world. This situation not only restricts healthy food production but also causes serious social and economic problems [1]. In the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) 2018-2030 Strategic Framework document, it was stated that “desertification, land degradation, and drought lead to economic, social and environmental problems such as poverty, health problems, food safety risk, biodiversity loss, water scarcity, the decline in resistance to climate change and forced migration”. It was also stated that these problems cause serious difficulties for the sustainable development of all countries, especially in the affected countries [2]. Increased competition for the use of land resources will lead to increased social and political instability [3]. Effective management by addressing all aspects of land degradation is critical to minimizing the negative effects of climate change and protecting biological diversity, as well as ensuring food security and sustainability of livelihoods. At the same time, land degradation neutrality (LDN) has been adopted as a target for Sustainable Development Goal 15, and achieving LDN is the primary goal of the UNCCD [4]. Turkey is one of the high-risk countries facing serious land degradation and desertification issues because of climate change as well as the increasing pressure on natural resources due to land demand [5]. However, with the misuse and inappropriate agricultural practices made within the scope of land planning and management, well-qualified lands that are the guarantee of our future are constantly shrinking. Lands of Turkey suffer severely from degradation processes specifically by soil erosion, compaction, acidification, salinization, alkalization, organic matter loss, fertility decline, and contamination. Moreover, surface sealing recently became the most threatened degradation factor because of increasing pressures by industrial developments, population growth, and urbanization [5]. Land capability class is a rational evaluation that reveals what the land should be used for. Of course, not all lands serve all kinds of purposes, but as long as they are used within their ability and capacity, the highest value can be produced from that land. The use of agricultural lands for activities other than agriculture results in loss of biological productivity over time. This is particularly important for the regions with limited agricultural land potential. Although Erzurum consists of about 1/30 of Turkey’s lands, the amounts of suitable lands for agriculture are limited. As in all over the country, misuse and mismanagement of lands are also common in the Erzurum provincial scale, which results in the loss of agricultural lands in a way that cannot be recycled. Therefore, it has critical importance in terms of land use planning and land management.

A few important studies have been carried out for drawing attention to the misuse of agricultural lands in the Erzurum plain so far. Ref [6] reported that industrialization seriously threatens well-qualified agricultural lands in the Erzurum plain. Ref [7] estimated that 27 150 da lands suitable for agriculture were used

for non-agricultural purposes, with evaluating the plans, projects, inventory studies, and licenses from municipalities, relevant private and public institutions regarding the occupation of lands in the Erzurum plain. Ref [8] produced digital land use maps and comparative change maps for the years 2015, 2010, 2001, 1987, 1960, 1958, 1953, 1947 in light of the information obtained from the satellite images, aerial photographs, and topography maps of the Erzurum plain. It was reported that significant changes in all land use types from the settlement areas to the agricultural areas and from the wetlands to the transportation networks in the Erzurum Plain were obtained within the 68-year period.

GIS techniques, which use different criteria and weights, are widely used in determining suitable areas for the growth of urban areas and monitoring their effects on the ecosystem [9], [10]. AHP, which is a multi-criteria decision analysis approach in determining the effects of land use changes; is one of the effective techniques used by planners, integrated with GIS tools. The fact that it is an approach that can be used in complex decision-making processes has made the use of AHP widespread, especially in the analysis of ecosystem effects [10], [11]. But; The need for experienced experts to determine the weights of the factors used in the analysis in the implementation of the AHP model creates difficulties in practice [12].

The objective of this study was to determine the extent of occupation of well-qualified agricultural lands within the last 18 years (2000-2018) in the Erzurum plain based on the potentially suitable agricultural land map of Erzurum at provincial scale obtained by the Analytical Hierarchy Process (AHP) and GIS.

2. Material and Method

Erzurum consists of about 1/30 of Turkey’s lands. It is the largest city in Eastern Anatolia, and the 4th largest after Konya, Sivas, and Ankara in Turkey. The population of Erzurum province has been determined as 758.279 according to the records of 2020. The economy of Erzurum province is generally based on agriculture, livestock, and the service sector. The importance of Palandöken Mountain for winter tourism has enabled the tourism sector to progress especially in recent years. It is the most important province of the Eastern Anatolia Region with its high altitude and rugged topography, depression areas, wide valley bases, flat plains. Its total surface area is 25.066 km² and its average altitude from sea level is about 1950 m. The annual average rainfall is 432.2 mm and the annual average air temperature is 6 C° [13]. The location map of the research area is presented in Figure 1.

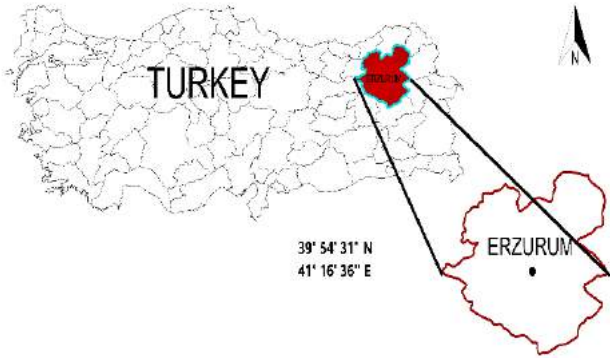


Figure 1. Location map of Erzurum province

A significant portion of the provincial land assets is mountains (63.7%); Rize Mountains, North Anatolian Mountains, and Karasu-Aras mountains. Plains; Erzurum plain, Pasinler plain, and Hınıs plain consists of about 4% of the total land assets of the province. Erzurum and Pasinler plains are separated from each other by the Deveboynu strait at an altitude of 2030 m. The altitude of the lowest point of the Erzurum plain is 1850 m. and the altitude of the lowest point of the Pasinler plain is approximately 1650 m. Terrestrial climate characteristics are dominant in the vast majority of the provincial land. The dominant natural vegetation in the provincial land is steppe formation. While the altitude from sea level varies between 800 and 3800 m in Erzurum, the average altitude of Erzurum plain is 1950 m (Figure 2). The slope change in the provincial scale is quite high. Especially in the northern part of the province, the slope degree is over 45% (Figure 3). On the other hand, the average slope in Erzurum plain is 3%. In terms of slope, only 26.5% (656782.6 ha) of the province has less than 12% slope degree that is envisaged as an agricultural limit for cultivation.



Figure 2. Elevation map of Erzurum province

3. Results and Discussion

Land use/land cover classification of Erzurum Province made according to CORINE-2012 can be seen in Table 1 and Figure 4. Approximately 56% of the province consists of pasturelands, with about 27% dry agriculture and natural vegetation together with agricultural fields.

The proportional distributions of the potentially cultivated agricultural areas of Erzurum obtained by using the HP approach are given in Table 2 and Figure 5. It was determined that 19.64% of the provincial land assets are suitable for cultivated agriculture

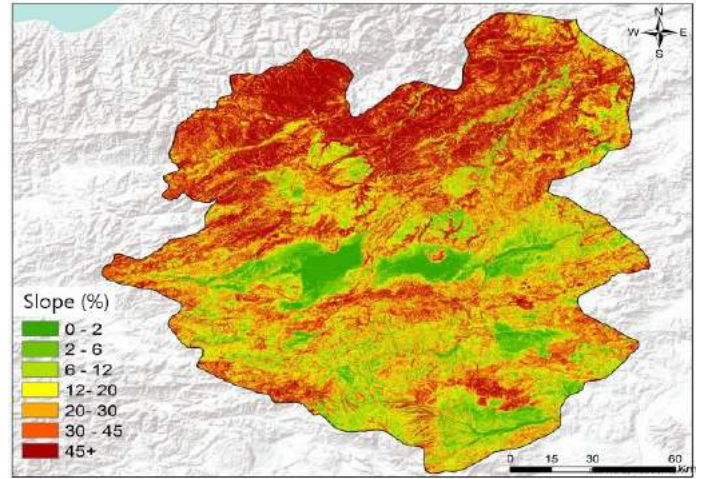


Figure 3. Slope map of Erzurum province

In this study, the AHP (Analytical Hierarchal Process) methodology was used in determining the potentially cultivated agricultural areas of Erzurum. Also, a multi-criteria decision analysis (MCDA) was selected and integrated with Geography Information System (GIS). It is commonly known that the evaluation of land suitability for agricultural activities is naturally regarded as a complex problem with multiple criteria. Today, besides the current techniques such as Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) technologies, this challenge can be overcome by using the MCDA approaches to make rational analyses and evaluations [14], [15], [16]. In the criteria standardization and assigning criterion weights process, standardization of criteria allows the re-scaling of evaluation dimensions between 0 and 1 where 0 indicates not suitable and value 1 indicates suitable. Following the processing and preparation of data, the factors were organized in the class of fit to their weight of importance. In the AHP approach [17], the criteria are standardized, by using pairwise comparison methods. The standardization of factors or criteria brought about in ratings is based on literature and agricultural experts. In a typical AHP method, experts have to give a definite number within a 1–9 scale to the pair-wise comparison so that the priority vector can be computed. The pairwise matrix comparisons were then analyzed to produce a set of weights [18]. Land use and land cover classification of the study area were made according to CORINE-2012 [19]. In addition, the amount of agricultural land occupied in the Erzurum plain in the last 18 years was determined by overcrossing the Erzurum City Planning map and the Land Use Capability Classification map of Erzurum.

at the levels of S1 (the most suitable) and S2 (suitable), whereas 49.45% of the provincial land assets are not suitable for cultivated agricultural activities.

The areas that are potentially suitable and very suitable for cultivated agriculture are distributed within the districts of Aşkale, Ilıca, Merkez, Pasinler, Köprüköy, Horasan and Tekman, Karayazı, Hınıs and Karaçoban. The areas that are presently or forever not suitable for cultivated agriculture (N1 and N2) are widely distributed in Ilıca, Pazaryolu, İspir districts, which are located in the West and North West of the province and are located in Tortum, Uzundere, Olur and Şenkaya districts. In addition, 30.91% of total lands were found to be less suitable (S3).

Table 1. CORINE-2012 land use/land cover classification for Erzurum [19]

Land use / Land cover	x 1000 ha	%
Pasture	1390.54	55.91
Dry agriculture	379.69	15.27
Agricultural fields with natural vegetation	269.10	10.82
Plant change areas	133.20	5.36
Forest	125.13	5.03
Rocky	125.01	5.03
Mixed with fruit	35.08	1.41
Waterway and swamp	16.16	0.65
Settlement	9.19	0.37
Industrial/commercial units and airport	3.95	0.16
Total	24870.48	100

corresponds to about 16% of the total area. The distribution of the first three classes is similar to the distribution obtained with the model. I., II. and III. Class areas are distributed in some parts of Aşkale, Ilıca, Center, Pasinler, Köprüköy, Horasan, Karaçoban, Hınıs and Karayazı districts. Class V lands show little distribution on a provincial scale. However, VI., VII. and VIII. class lands constitute about 68% of the total area. These areas are widely distributed in the districts of the province, especially in the north, northwest and northeast sections. In the case of comparing the data obtained from the model with the classes of the LCC, the values of S1 and S2, which are suitable for cultivated agriculture, correspond to 19.6% of the province, while the value of the first three classes of the LCC is determined as 16.0%. Even though these values are close to each other, the less suitable areas shown as S3 in the model are IV. compared with the class, the model evaluates approximately 31% of the area as less suitable for cultivated agriculture, while the IV. the class was determined to be about 15%. In both approaches, it has been determined that more than half of the total area within the provincial boundary constitutes ineligible agricultural areas.

Table 2. Potentially cultivated agricultural areas in Erzurum

Class	Identification	Index	Area (ha)
S1	1.25-1.81	The most suitable	143 841.8
S2	1.82-2.38	Suitable	344 612.4
S3	2.39-2.50	Less suitable	768 783.0
N1	2.51-2.79	Presently not suitable	834 544.8
N2	2.80-3.43	Forever not suitable	395 262.8
TOTAL			2 487 045

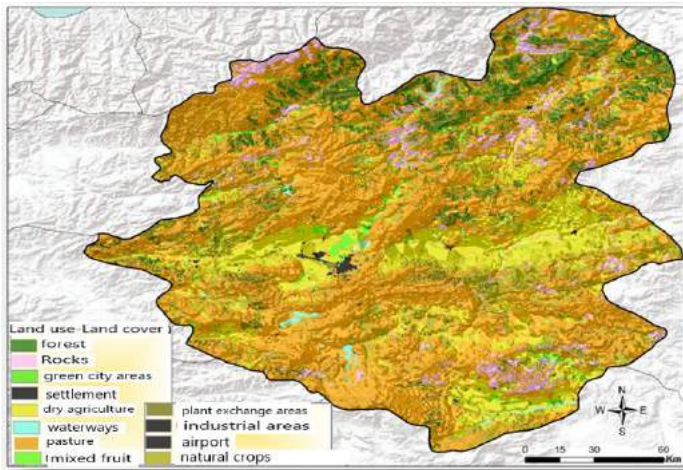


Figure 4. CORINE-2012 land use land cover map of Erzurum province [19]

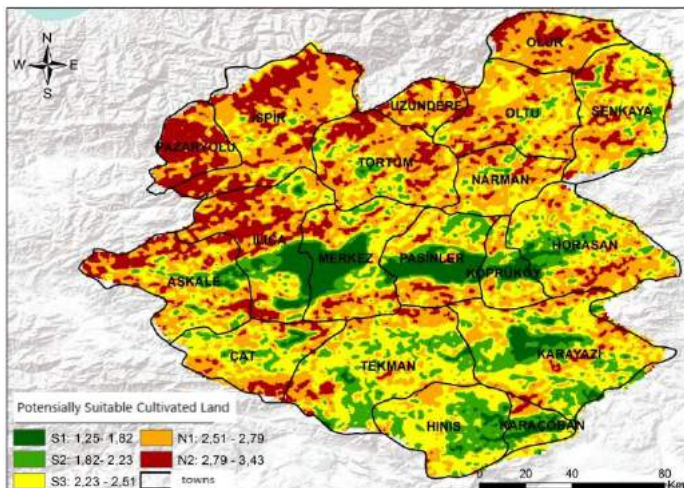


Figure 5. Distribution map of potentially cultivated agricultural lands in Erzurum

According to the provincial inventory report Ref [20], the total of the first four classes according to the spatial and proportional distribution of the Land Use Capability classes (LCC) that make up the classes suitable for cultivated agriculture is 30.62% of the whole area. However, the first three classes are much more important for cultivated agricultural areas, which

e-ISSN: 2148-2683

According to the provincial inventory report Ref [20], the total of the first four classes according to the spatial and proportional distribution of the Land Use Capability classes (LCC) that make up the classes suitable for cultivated agriculture is 30.62% of the whole area. However, the first three classes are much more important for cultivated agricultural areas, which corresponds to about 16% of the total area. The distribution of the first three classes is similar to the distribution obtained with the model. I., II. and III. Class areas are distributed in some parts of Aşkale, Ilıca, Center, Pasinler, Köprüköy, Horasan, Karaçoban, Hınıs and Karayazı districts. Class V lands show little distribution on a provincial scale. However, VI., VII. and VIII. class lands constitute about 68% of the total area. These areas are widely distributed in the districts of the province, especially in the north, northwest and northeast sections. In the case of comparing the data obtained from the model with the classes of the LCC, the values of S1 and S2, which are suitable for cultivated agriculture, correspond to 19.6% of the province, while the value of the first three classes of the LCC is determined as 16.0%. Although these values are close to each other, the less suitable areas shown as S3 in the model are IV. compared with the class, the model evaluates approximately 31% of the area as less suitable for cultivated agriculture, while the IV. the class was determined to be about 15%. In both approaches, it has been determined that more than half of the total area within the provincial boundary constitutes ineligible agricultural areas.

According to the land use classification standards of the Erzurum plateau, the length of which is 25-26 km and the width is 14-28 km, the land asset is 283 478 ha [21]. 15.918 hectares of total area are I.Class, 40.163 hectares are II. Class and 18,347 hectares III. Class. The amount of marginal agricultural areas (IV. Class) is 36,825 hectares.

Ref [7] reported that agricultural lands occupied by public and private sectors in Erzurum plain were 1 422 da between 1970 - 80, 7 237 da between 1980 - 1990 and 18.491 da between 1990 -2000. Of the total of 1 422 da lands occupied between 1970 and 1980, 847 da of land was determined as I. Class and 575 da as II. Class. In the second decade covering 1980-1990, of the total of 7,357 of agricultural land occupied, 4 935 da I. Class and 619 da II. Class and 1 683 da III. Class. From 1990 through 2000, of the total of 18 491 da used for non-agricultural purposes, 11 855 da was I. Class, 4 228 da II. Class and 2 378 da III. Class. In other words, of the total of 27 150 da occupied lands in Erzurum plain, 65% (17 637 da) was in I. Class, 20% (5 422 da) in II. Class and 15% (4 061 da) in III. Class.

The total amount of land occupied in Erzurum plain in the last 18 years (2000-2018) is 13 161 decares (Figures 6 and 7). 3489 decares of this amount were occupied between 2000-2010 and 9672 decares between 2010 - 2018. 9651 decares of the occupied land are suitable for cultivated land (Class I-IV) and approximately 40% of the occupied land (3 833 decares) are in I and II. Class lands.

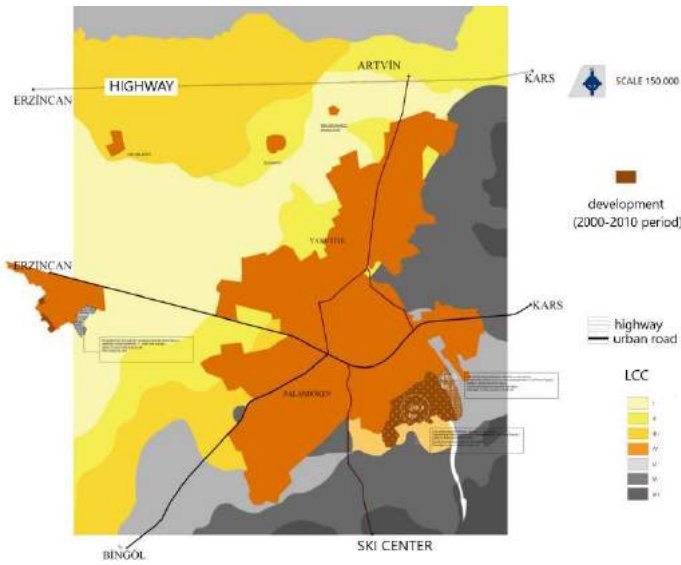


Figure 6. The lands occupied within the 2000-2010 development period in Erzurum province [22].

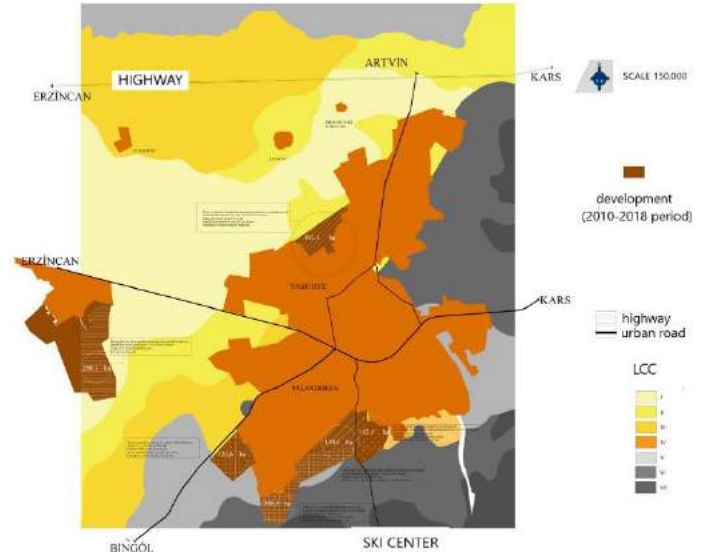


Figure 7. The lands occupied within the 2010-2018 development period in Erzurum province [22].

The main factor of the occupation, which has been increasing since 1970 in the Erzurum plain, is the Erzurum-Erzincan highway route. The second highway passed in 1995 increased the size of the occupation on the plain geometrically. The second highway currently occupies 1 810 ha agricultural land alone [7]. Occupations continue to increase with activities carried out in the context of industrialization and social services on both sides of the highways.

4. Conclusions and Recommendations

At the provincial scale, a total of 488 454 ha agricultural land is present in Erzurum, of which 143 842 hectares are “the most suitable” for cultivated agriculture (S1) and 344 612 hectares “suitable” for cultivated agriculture (S2). In other words, the lands suitable for cultivation at the provincial scale constitute 19.6% of the provincial total land assets. A significant part of the lands in question is distributed in the Erzurum Center-Ilıca and Pasinler plain, while the remaining part is distributed in the towns of Aşkale, Köprüköy and Horasan, Karaçoban, Hımıs and Karayazı districts. As [5] and [8] pointed out, the most important factor of the occupations that started in the Erzurum plain since the 1950s is the uncontrolled settlement and industrialization developed throughout the highways that established on over agricultural fields. It is no longer permissible to use the plain lands of the province, which are the lifeblood of agriculture, for any purpose other than agricultural purposes. With the decision of the Council of Ministers numbered 2016/9620, 2 of the 141 plains protected at the country scale are Erzurum Plain and Pasinler Plain. We believe that this development will stop the occupation of Erzurum Plain and other provincial plains with high agricultural potential.

References

- [1] S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [2] UNCCD. 2017. The Convention. United Nations Convention to Combat Desertification. Official web page. <http://www2.unccd.int/>.
- [3] Decorte, F., Augustinus, C., Lind, E., & Brown, M. Scoping and Status Study on Land and Conflict: Towards UN

- System-Wide Engagement at Scale; UN-Habitat/Global Land Tool Network (pp. 1-49). Working Paper May 2016, Report 5/2016.
- [4] Cowie, A. L., Orr, B. J., Sanchez, V. M. C., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., ... & Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, 79, 2535
- [5] Oztas, 2019. FOR A LIVABLE FUTURE; Work and Fight for a Land Degradation Neutral World. International Congress on Engineering and Life Science. April 11-14, 2019. Kastamonu Turkey.
- [6] Sevim, Z., 1980. Erzurum'da Amaç Dışı Kullanılan Tarımsal Alanlar. Bölgesel Çevre Sorunları Simpozyumu. Tebliğ Özetleri. Atatürk Üni. Çevre Sonları Araştırma Enstitüsü. Erzurum.
- [7] Ozbek, A.K, Oztas, T, 2004. Tarım Arazilerinin Amaç Dışı Kullanımı; Erzurum Örneği. *Ekoloji Dergisi*, 13(52),1-6.
- [8] Sevindi, C. 2018. Erzurum Ovası'nda 1947-2015 Yılları Arasında Arazi Kullanımındaki Değişmeler. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Aralık 2018 22(Özel Sayı): 2855-2873.*
- [9] Aburas, M. M., Abdullah, S. H., Ramli, M. F., & Asha'ari, Z. H. (2017). Land suitability analysis of urban growth in Seremban Malaysia, using GIS based analytical hierarchy process. *Procedia engineering*, 198, 1128-1136. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.155>
- [10] Mohammad, M., Sahebgharani, A., & Malekipour, E. (2013). Urban growth simulation through cellular automata (CA), analytic hierarchy process (AHP) and GIS; case study of 8th and 12th municipal districts of Isfahan. *Geographia Technica*, 8(2), 57-70.
- [11] Javadian, M., Shamskooski, H., & Momeni, M. (2011). Application of sustainable urban development in environmental suitability analysis of educational land use by using AHP and GIS in Tehran. *Procedia Engineering*, 21, 72-80.
- [12] Bagheri, M., Sulaiman, W. N. A., & Vaghefi, N. (2013). Application of geographic information system technique and analytical hierarchy process model for land-use suitability analysis on coastal area. *Journal of coastal conservation*, 17(1),
- [13] TSMS. (2021). Meteorological Service Official Statistics, Weather Forecast. Retrieved from <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ERZURUM>
- [14] Malczewski J. A. 1996. GIS-based approach to multiple criteria group decision making. *International Journal of Geographical Information System* 10 (8): 955-971.
- [15] Dagistanli, C., Demirag Turan, I and Dengiz, O. 2018. Valuation of The Suitability Of Sites For Outdoor Recreation Using A Multi-Criteria Assessment Model. *Arabian Journal of Geoscience*, 11 (17), DOI: 10.1007/s12517-018-3856-0.
- [16] Demirag Turan, I. Dengiz O, Ozkan B. 2019. Spatial assessment and mapping of soil quality index for desertification in the semi-arid terrestrial ecosystem using MCDM in interval type-2 fuzzy environment. *Computers and Electronics in Agriculture*. 164; 104933. [https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104933.](https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104933)
- [17] Saaty T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv Sci*.1:83–98
- [18] Rabia A.H, Fabio T (2013) Introducing a new parametric concept for land suitability Assessment. *International Journal of science and Development*; Singafore, vol.4 (1), 295.DOI: 10.7763/IJESD.
- [19] Dengiz, O. 2018. Erzurum ili Temel Coğrafi Özellikleri ve Potansiyel İşlemeli Tarım Alanı Varlığı Erzurum İli Arazi Kullanım Çalıştayı 26-28 Eylül Erzurum
- [20] Anonymous, 2000. Erzurum İli Arazi Varlığı. KHGM.Yayımları. Rapor No: 25. Erzurum.
- [21] Klingebiel, A. A., Montgomery, P.H., 1961. Land Capability Classification. *Agric. Handbook 210. Soil Conserve. Service, US Gov. Printing Office, Washington, USA.*
- [22] Dursun, D. 2018. Kentsel Büyüme Sürecinde Arazi Yönetimi, Erzurum Örneği. Erzurum İli Arazi Kullanım Çalıştayı 26-28 Eylül Erzurum



Real-Time Acceleration Estimation of a Slider Crank Mechanism with an Enhanced Adaptive Windowing Technique

Ergin Kilic^{1*}

^{1*} Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3099-0303),
erginkilic@sdu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008233)

ATIF/REFERENCE: Kilic, E. (2021). Real-Time Acceleration Estimation of a Slider Crank Mechanism with an Enhanced Adaptive Windowing Technique. *European Journal of Science and Technology*, (28), 506-510.

Abstract

In this paper, a real-time implementation of a second-order adaptive windowing technique for acceleration estimation is presented for a slider crank mechanism. It is shown that there are some critical parameters which should be carefully set to proper values for a satisfactory acceleration estimation. In this technique, the size of the window is automatically enlarged until the position errors will not be out of the error bands defined by the user. In order to show the effectiveness of the second-order adaptive windowing technique in real-time, a test setup composed of a slider-crank mechanism is used. In the performed tests, only the crank angle is measured via an incremental encoder having a 1024 pulse per revolution, and then, the slider acceleration is estimated by the help of some kinematic calculations using the outputs of the second-order adaptive windowing technique. The estimated acceleration results are directly compared with an acceleration sensor having a measurement range with $\pm 6g$ with a nominal 0-200 Hz bandwidth attached on the slider. It is found that the root-mean-square value of the acceleration errors along the entire motion profile is at tolerable level so that this effective acceleration estimation technique could be applied to various on-line robotic applications as a soft sensor.

Keywords: Optical encoders, Acceleration sensors, Acceleration estimation, Adaptive windowing technique.

Gelişmiş Uyarlanabilir Pencereleme Tekniği ile bir Krank-Biyel Mekanizmasının Gerçek Zamanlı İvme Tahminlemesi

Öz

Bu çalışmada, bir krank-biyel mekanizması için ivme tahmini için ikinci dereceden bir uyarlanabilir pencereleme tekniğinin gerçek zamanlı bir uygulaması sunulmaktadır. Doğru bir ivme tahmini için uygun değerlere dikkatlice ayarlanması gereken bazı kritik parametreler olduğu gösterilmiştir. Bu teknikte pencerenin boyutu, konum hataları kullanıcı tarafından tanımlanan hata bantlarının dışına çıkmayınca kadar otomatik olarak büyütülür. İkinci mertebeden uyarlamalı pencereleme tekniğinin etkinliğini gerçek zamanlı olarak gösterebilmek için krank-biyel mekanizmasından oluşan bir test düzeneği kullanılmıştır. Yapılan testlerde, devir başına 1024 darbeye sahip artımlı bir optik kodlayıcı ile krank açısı ölçülmekte olup sonrasında ikinci dereceden uyarlamalı pencereleme tekniği kullanılarak bazı kinematik hesaplamalar yardımıyla kızak uzvunun ivmesi tahmin edilmektedir. Tahmin edilen ivme değerleri, kızağa bağlı 0-200 Hz nominal bant genişliğine ve $\pm 6g$ ölçüm aralığına sahip bir ivmelenme sensörü ile doğrudan karşılaştırılmaktadır. Tüm hareket profili boyunca ivme hatalarının karekök-ortalama değerinin tolere edilebilir düzeyde olduğu ve dolayısıyla bu etkin ivme tahminleme tekniğinin çeşitli çevrimiçi robotik uygulamalarda bir yumuşak sensor olarak kolaylıkla uygulanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optik enkoderler, İvme sensörleri, İvme tahminleme, Uyarlanabilir pencereleme tekniği.

* Corresponding Author: erginkilic@sdu.edu.tr

1. Introduction

Kinematic information is always needed in force controlled robotic devices having a closed-loop motion control system which depends on position, velocity and acceleration. However, obtaining acceleration by numerically differentiating twice from a position signal coming from optical encoders generally does not give satisfactory results due to the quantized data structure of the sensor. In recent years, it has been one of the popular topics to use some estimation methods as soft sensors instead of expensive acceleration sensors, especially in robotic systems with high degrees of freedom.

Taking a first- and a second order numerical derivative and applying a low-pass filtering is one of the most easily applied techniques on a position signal for velocity and acceleration estimation, but it is well known that this approach suffers from problems such as phase distortion and attenuation. In addition, there are different techniques such as Kalman filters for the prediction of velocity and acceleration in the literature [1], [2]. However, this method requires a discrete-time dynamic model of the encoder as well as a tedious fine-tuning of the filter parameters. Some studies in the literature propose prediction methods based on state variables, but they have limited applications due to their dependence on the complete nonlinear state-space system model [3], [4]. Moreover, some researchers seem to be able to predict acceleration using artificial neural networks at the expense of collecting a huge amount of training data specific to the system under consideration [5]. Also, Tanaka et al. realized the hardware implementing fixed-position technique for the estimation of acceleration using FPGAs in real-time [6]. Besides, it is well known that there are adaptive windowing methods which minimize the position error variance and maximize the estimation accuracy by adjusting the size of the window. A first-order adaptive windowing algorithm was proposed for velocity estimations in [7], and then, a second-order adaptive windowing technique was presented to calculate the acceleration estimations in [8]. A hybrid acceleration estimation algorithm based on a Kalman filter and a first-order adaptive windowing method was proposed and a simulation study using an optical encoder having a 2048 pulse per revolution (ppr) was realized by [9]. In another simulation study, a first order adaptive windowing technique for acceleration estimation was used for a two-mass mechanical vibration suppression system having a 2500 ppr encoder resolution [10]. Although a second-order adaptive windowing technique for acceleration estimation was well introduced in [8], it is seen that recent studies preferred to use first-order adaptive windowing techniques instead of using a second-order one due to its computational complexity.

This study explicitly shows a real-time application of an acceleration estimation for a non-linear slider crank mechanism. Hence, this effective acceleration estimation technique could be applied to various on-line robotic applications having a motion control system which close the feedback loop over optical encoders. It will be seen that there are some critical parameters which should be carefully set to proper values for a satisfactory acceleration estimation. Furthermore, in the previous work presented by [8], motion inputs have been given by a haptic-device user where the data were stored offline for later use. Especially, the references were generated by using off-line forward-backward filtering of the differentiated position signals of the high resolution encoder (5000 ppr) and then compared

against the acceleration estimation results calculated using a low resolution encoder (500 ppr). However, in this study, the estimated acceleration results of a slider-crank mechanism will be directly compared with an acceleration sensor for the first time in the current literature.

2. Material and Method

2.1. Adaptive Windowing Technique

It was shown in [8] that the estimated velocity (\hat{v}_k) and estimated acceleration (\hat{a}_k) values can be easily calculated from (1) and (2) by the help of quantized position signal values (y_k) captured at discrete-time index k . It is also known that increasing the window size (n) up to a critic value improves the accuracy of the estimated acceleration values, however; using an excessive window size will introduce a significant time delay (phase lag) by the process and degrades the accuracy of calculations with respect to the actual ones (a_k), which will be measured by an acceleration sensor in this study.

$$\hat{v}_k = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} \hat{v}_{k-j} = \frac{y_k - y_{k-n}}{nT} \quad (1)$$

$$\hat{a}_k = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} \hat{a}_{k-j} = \frac{\hat{v}_k - \hat{v}_{k-n}}{nT} \quad (2)$$

The objective of the adaptive windowing technique is to choose an optimal windowing size regarding kinematics of the system at hand. For acceleration estimation purpose, a second-order fitting function on the position data is used as:

$$\hat{y}_{k-i} = c_1 (k-i)^2 T^2 + c_2 (k-i)T + c_3 \quad (3)$$

where T is the sampling-time and i is the i^{th} sample before the last sample k . Moreover, c_1, c_2 and c_3 are the parameters which should be found according to the error function defined below:

$$E = \sum_{i=0}^n (y_{k-i} - \hat{y}_{k-i})^2 \quad (4)$$

where y_{k-i} is the i^{th} before the last measured position signal which is illustrated in Fig. 1.

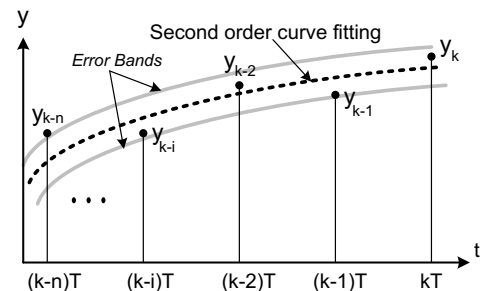


Fig. 1 Curve Fitting of the quantized position signal.

To obtain optimal results for the c_1, c_2 and c_3 parameters, the following equations should be solved.

$$\frac{\partial E}{\partial c_1} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial c_2} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial c_3} = 0 \quad (5)$$

Solution of (5) yields the parameters as below;

$$c_1 = 30 \frac{ns_1(n-1) - 6ns_2 + 6s_3}{T^2n(n-1)(n+1)(n+2)(n+3)} \quad (6)$$

$$c_2 = 6 \frac{As_1 + Bs_2 + Cs_3}{Tn(n-1)(n+1)(n+2)(n+3)} \quad (7)$$

$$c_3 = 3 \frac{Ds_1 + Es_2 + Fs_3}{n(n-1)(n+1)(n+2)(n+3)} \quad (8)$$

where the factors in these equations could be given as below;

$$s_1 = \sum_{i=0}^n y_{k-i}; \quad s_2 = \sum_{i=0}^n i \cdot y_{k-i}; \quad s_3 = \sum_{i=0}^n i^2 \cdot y_{k-i} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} A &= 3n(2n^2 - n - 1) - 10kn(n-1) \\ B &= -4n(8n+1) + 6(10kn+1) \\ C &= 30(n-2k) \\ D &= 10k^2n(n-1) - 6kn(2n^2 - n - 1) + n(3n^3 - n - 2) \\ E &= 8kn(8n+1) - 6n(2n^2 - n - 1) - 12k(5kn+1) \\ F &= 10n(n-1) + 60k(k-n) \end{aligned} \quad (10)$$

It is very important to note that there was a sign error in the writing of parameter D published in [8] (ICESES'10, page 63, first column). It will be shown later how this sign error disrupts the estimation results. Consequently, the following equations are used for the estimation of position, velocity and acceleration.

$$\hat{p}_k = \hat{y}(kT) = c_1(kT)^2 + c_2(kT) + c_3 \quad (11)$$

$$\hat{v}_k = \left. \frac{d\hat{y}}{dt} \right|_{t=kT} = 2(kT)c_1 + c_2 \quad (12)$$

$$\hat{a}_k = \left. \frac{d^2\hat{y}}{dt^2} \right|_{t=kT} = 2c_1 \quad (13)$$

The main purpose of the enhanced adaptive windowing (EAW) method is to find a window of maximum length (n) such that all the position errors are within an error band:

$$|y_{k-i} - \hat{y}_{k-i}| \leq d, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (14)$$

where d is the upper bound of quantization error.

2.2. Real-Time Implementation of the EAW

Although the EAW algorithm may seem computationally intensive, all necessary computations can be conveniently implemented on a Data Acquisition Board (Humusoft® Model: MF624). As could be seen from Fig. 2, a MATLAB/Simulink® diagram was created in which a Delay Line and a Reshape blocks were used to get the position data coming from the Encoder Input block in a line vector form. Delay Line size, which is set to 12 in this study, defines the maximum allowable window size (n) of the EAW technique. K is a constant gain which is used to convert encoder signals from pulse units to degree units. Furthermore, sampling time (T) and the error band limit (d) should also be defined before the calculations performed. Furthermore, Fig. 3

shows the MATLAB function of the EAW algorithm, which will be used for real-time calculations.

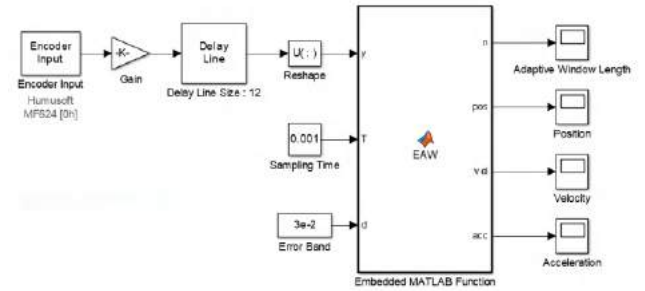


Fig. 2 Real-time implementation of the EAW technique.

```
function [n, pos, vel, acc] =EAW(y, T, d)
k=12; % The last sample index (k)
for n=1:1:k-1; % Adaptive Window Length (n)
s1=0; s2=0; s3=0;
for i=0:1:n
s1=s1+y(k-i);
s2=s2+i*y(k-i);
s3=s3+(i^2)*y(k-i);
end
A=3*n*(2*n^2-n-1)-10*k*n*(n-1);
B=-4*n*(8*n+1)+6*(10*k*n+1);
C=30*(n-2*k);
D=10*k^2*n*(n-1)-6*k*n*(2*n^2-n-1)+n*(3*n^3-n-2);
E=8*k*n*(8*n+1)-6*n*(2*n^2-n-1)-12*k*(5*k*n+1);
F=10*n*(n-1)+60*k*(k-n);
c1=30*(n*s1*(n-1)-6*n*s2+6*s3)/(T^2*n*(n-1)*(n+1)*(n+2)*(n+3));
c2= 6*(A*s1+B*s2+C*s3)/(T*n*(n-1)*(n+1)*(n+2)*(n+3));
c3= 3*(D*s1+E*s2+F*s3)/(n*(n-1)*(n+1)*(n+2)*(n+3));
y_hat=c1*((k-i)*T)^2+c2*(k-i)*T+c3;
if abs(y(k-i)-y_hat) > d
break
end
end
pos=c1*(k*T)^2+c2*(k*T)+c3;
vel=2*c1*(k*T)+c2;
acc=2*c1;
```

Fig. 3 MATLAB M-File of the EAW technique.

Sampling time is arranged to 0.001 seconds for general purpose. However, it is critical to note that the value of error band (d) is determined via trial and error. If the error band limit is chosen too big, window length (n) will stick to its predetermined maximum value, which is set to 12 in this study. On the other hand, the error band should not be too small as the estimated acceleration values will fluctuate enormously.

2.3. Experimental Setup

In this study, a slider crank mechanism presented in Fig 4 is used as an experimental setup. The aim of the study is to estimate the slider acceleration from the position information of the crank. For this purpose, an optical encoder with 1024 ppr is used to measure the crank angle θ which is schematically represented in Fig. 5. Moreover, an acceleration sensor is placed on the slider in order to measure the slider acceleration (\ddot{s}). Therefore, the acceleration estimation performance of the EAW technique will be directly compared with an acceleration sensor (TE connectivity® Model:4033-006-120). Acceleration range of this sensor is $\pm 6g$ with a nominal 0-200 Hz bandwidth.

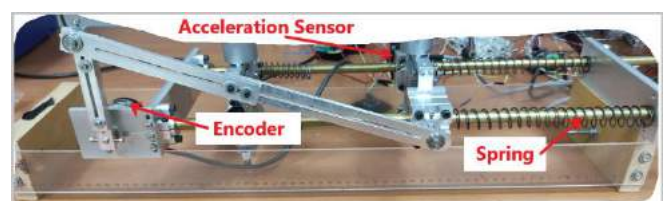


Fig. 4 Experimental setup.

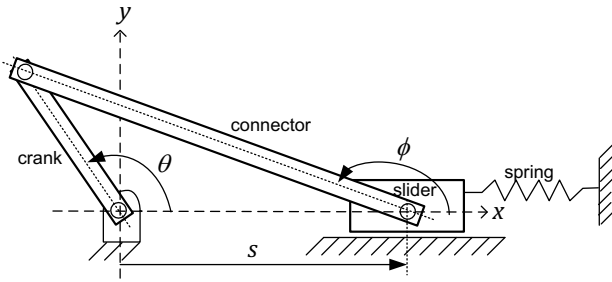


Fig.5 Schematic of the slider-crank mechanism.

Since the purpose of this study is to calculate slider acceleration without using any acceleration sensor, one should perform some kinematic calculations in order to achieve the position (s), velocity (\dot{s}) and acceleration (\ddot{s}) of the slider with only using the position information of the crank (θ). Therefore, the following trigonometric equations could be written for this mechanism in x-y directions as:

$$a_2 \cdot \cos \theta = s + a_3 \cdot \cos \phi \quad (15)$$

$$a_2 \cdot \sin \theta = a_3 \cdot \sin \phi \quad (16)$$

where a_2 is the length of the crank (105 mm) and a_3 is the length of the connector (326 mm). In addition, using the first and second derivatives of (15) and (16), the following kinematic equations can be obtained with the help of the velocity and acceleration influence coefficients (g_1, g_2 and h_2) determined for a slider-crank mechanism [11].

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{a_2 \cdot \sin \theta}{a_3} \right) \quad (17)$$

$$g_1 = \frac{a_2}{a_3} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \phi} ; g_2 = a_2 \cdot \frac{\sin(\phi - \theta)}{\cos \phi} \quad (18)$$

$$h_2 = a_2 \cdot \frac{-\cos(\phi - \theta) \cdot \cos \phi + \cos \theta \cdot g_1}{\cos \phi^2} \quad (19)$$

$$s = a_2 \cdot \cos \theta - a_3 \cdot \cos \phi \quad (20)$$

$$\dot{s} = [g_2] \cdot \dot{\theta} \quad (21)$$

$$\ddot{s} = [g_2] \cdot \ddot{\theta} + [h_2] \cdot \dot{\theta}^2 \quad (22)$$

Consequently, the equations (20), (21) and (22) can be conveniently used to calculate the position, velocity and acceleration of the slider. As could be seen, the position, velocity and the acceleration of the crank angle ($\theta, \dot{\theta}$ and $\ddot{\theta}$) are needed instantly in the kinematic calculations of the slider; however, only the position of the crank was measured directly. Please note that, acceleration sensor attached on the slider will only be used for the verification purposes. Fig. 6 shows the MATLAB/Simulink diagram used both for the measurement and estimation of the slider acceleration in real-time.

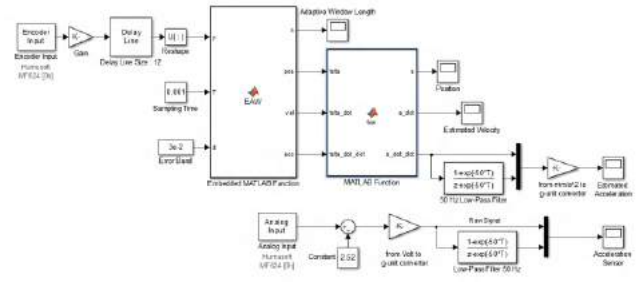


Fig.6 Real-time acceleration estimation for the slider-crank mechanism.

3. Results and Discussion

The initial position of the crank is exactly at 90° when the mechanism is at equilibrium due to the spring connected to the slider. The slider is then allowed to free vibration by adjusting the crank initial position from 90° to 130° by hand as shown in Fig 7. The acceleration of the slider measured by the acceleration sensor for this crank motion is given in Fig 8. As could be seen, there are extreme fluctuations in the raw sensor signal due to the excessive roughness involved in the linear guide system. To obtain a smooth acceleration results in this work, a low-pass filtering (with a cut-off frequency 50Hz) is applied on the measured acceleration signal.

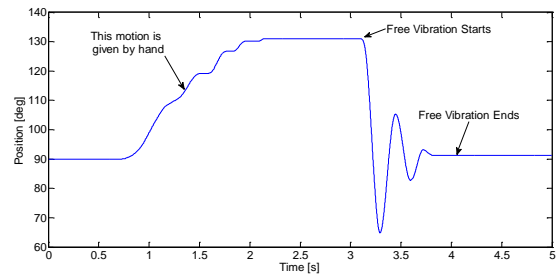


Fig.7 Measured crank position profile.

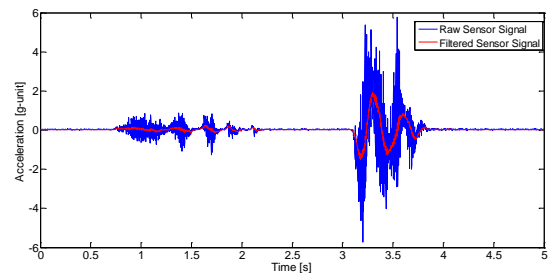


Fig.8 Measured and Low-pass filtered acceleration sensor data.

Fig. 9. compares the performance of the EAW technique for acceleration estimation with the values measured by the acceleration sensor. Also, Fig. 10 shows low-pass (50 Hz) filtered versions of the signals which are presented in Fig. 9. As could be seen there is not any problem such as phase distortion or attenuation in acceleration estimates. The rms value of errors between the filtered acceleration signals along the entire motion profile is calculated as 0.0807 g-unit (or 0.7916 m/s²).

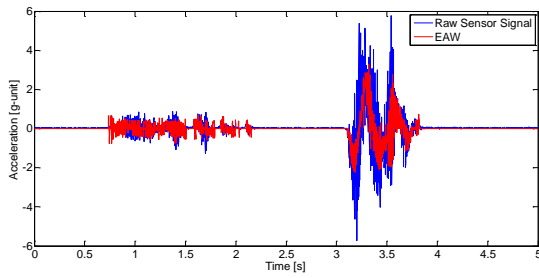


Fig.9 Comparison of EAW technique with the acceleration sensor

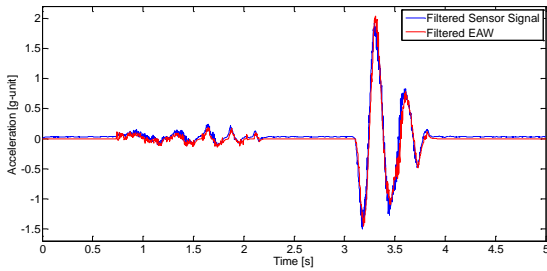


Fig. 10 Low-pass filtered acceleration data

As it is remembered, there was a sign error in the D parameter of the EAW technique published in [8]. Fig. 11 shows how this small sign error distorts the estimated acceleration values. Therefore, all the equations of the EAW technique should be checked twice and implemented carefully.

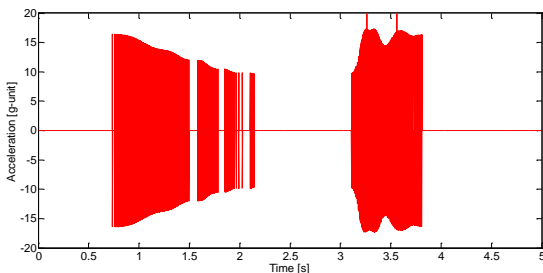


Fig. 11 Acceleration estimation results when there was a sign error in parameter D

4. Conclusions and Recommendations

This study presented the real-time implementation of the developed second-order adaptive windowing technique for acceleration estimation on a crank-slider mechanism. The crank angle was measured by the help of an optical encoder with 1024 ppr and this position signal is used to estimate acceleration of the slider link. Despite its intensive computational burden of the EAW technique, it was shown that the developed algorithm could be easily implemented on a Data Acquisition Board with using a 1000 Hz sampling frequency. The performance of the EAW technique has been evaluated with an experimental study and it has been shown that the acceleration estimation errors are found to be acceptable/tolerable for many industrial robotic applications. In addition, the proposed acceleration estimation method can be conveniently used as a soft sensor in case of acceleration sensor failures in many robotic systems.

References

- [1] Jeon, S. and Tomizuka, M. (2007). Benefits of acceleration measurement in velocity estimation and motion control. *Control Engineering Practice*, 15(3), 325-332.
- [2] Belanger, P. R., Dobrovolsky, P., Helmy, A. and Zhang, X. (1998). Estimation of angular velocity and acceleration from shaft-encoder measurements. *Int. J. Robot. Res.*, 17(11), 1225–1233.
- [3] Lorenz, R.D. and Van Pattern, K.W. (1991). High-Resolution Velocity Estimation for All-Digital ac Servo Drives. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 27(4), 701-705.
- [4] Brunsbach, B.J., Henneberger, G. and Klepsch, T. (1992). Speed Estimation with Digital Position Sensor. *Proceedings of the International Conference on Electrical Machines (ICEM'92)*, p. 577-581.
- [5] Gao, X.Z. and Ovaska, S.J. (2001). Acceleration signal estimation using neural networks. *Meas. Sci. Technol.*, 12(10), 1611–1619.
- [6] Tanaka, H., Nishi, H. and Ohnishi, K. (2008). An Approach to Acceleration Estimation Using FPGA. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, p. 1959-1964.
- [7] Janabi-Sharifi, F., Hayward, V., and Chen, C.J. (2000). Discrete-Time Adaptive Windowing for Velocity Estimation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 8(6), 1003-1009.
- [8] Kilic, E., Baser, O., Dolen, M. and Konukseven, E.I. (2010). An Enhanced Adaptive Windowing Technique for Velocity and Acceleration Estimation using Incremental Position Encoders. *The International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES'10)*, p. 61-64.
- [9] Jin, J. and Pang, Q. (2014). A novel acceleration estimation algorithm based on Kalman filter and adaptive windowing using low-resolution optical encoder. *IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering*, p. 185-189.
- [10] Jin, J. and Huang, S. (2014). A novel acceleration estimation algorithm for mechanical vibration suppression of two-mass system. *17th International Conference on Electrical Machines and Systems*, p. 2066-2070.
- [11] Soylemez, E. (2009). *Mechanisms*, 4th ed., Ankara, Turkey: Middle East Technical University.



Estimating Mechanical Behavior of Scaffolds with Graded Porosity by Finite Element Analysis

Meltem Eryildiz^{1*}

^{1*} Beykent University, Faculty of Engineering-Architecture, Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2683-560X), meltemeryildiz@beykent.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008251)

ATIF/REFERENCE: Eryildiz, M. (2021). Estimating Mechanical Behavior of Scaffolds with Graded Porosity by Finite Element Analysis. *European Journal of Science and Technology*, (28), 511-514.

Abstract

3D printing, which is commonly known as additive manufacturing, was around for decades. It allowed users to create 3D objects using computer software and computer aided design (CAD). Due to the increasing use of 3D printing for engineering, the development of tools and strategies to improve the mechanical behavior of printed parts has become necessary. Scaffolds with gradient porosity becomes an attractive candidate for bone tissue engineering. In this paper, a novel hybrid scaffold with a graded pore structure similar to the bimodal structure of cortical and cancellous bones was described. The scaffolds were designed as hybrid, they had three and two grade as 200-300-500 μm , and 200-500 μm . Porosity of the scaffolds was calculated. Stress analysis of the hybrid scaffolds with graded porosity was carried out to simulate mechanical behavior. According to FEA results, porosity had negative effect on the mechanical properties of the scaffolds. Due to its lower porosity 200-500 μm -b hybrid scaffold had highest mechanical properties according to FEA analysis.

Keywords: Finite Element Analysis, PLA, FDM, Stress Analysis, Mechanical Behaviour

Kademeli Gözenekli Doku İskelelerin Mekanik Davranışının Sonlu Eleman Analizi ile Tahmin Edilmesi

Öz

Eklenebilir imalat olarak bilinen 3D baskı, uzun zamandır kullanılmaktadır. Eklenebilir imalat bilgisayar yazılımı ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) kullanarak 3B nesnelere oluşturmasına izin vermektedir. 3D baskının mühendislik için artan kullanımı nedeniyle, basılı parçaların mekanik davranışını iyileştirmek için araç ve stratejilerin geliştirilmesi gerekli hale geldi. Kademeli gözenekli doku iskeleleri, kemik doku mühendisliği için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, kortikal ve süngerimsi kemiklerin bimodal yapısına benzer kademeli gözenek yapısına sahip yeni bir hibrit doku iskele geliştirilmiştir. Doku iskelesi hibrit olarak tasarlanmış olup, 200-300-500 μm ve 200-500 μm olmak üzere üç ve iki kademeli gözenekte tasarlanmıştır. Doku iskelelerin gözenekliliği hesaplanmıştır. Mekanik davranış simüle etmek için kademeli gözenekli hibrit doku iskelelerin stres analizi yapılmıştır. FEA sonuçlarına göre gözenekliliğin doku iskelelerin mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkiye sebep olduğu görülmüştür. Daha düşük gözenekliliği nedeniyle 200-500 μm -b hibrit doku iskelesi, FEA analizine göre en yüksek mekanik özelliklere sahip olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Analizi, PLA, FDM, Gerilme Analizi, Mekanik Özellik.

* Corresponding Author: meltemeryildiz@beykent.edu.tr

1. Introduction

Additive manufacturing (AM), otherwise known as three-dimensional (3D) printing, is a process where parts are generated layer by layer. Additive manufacturing technology, also known as 3D printing, had been around for decades and it has allowed users to fabricate custom 3D objects using computer software and computer aided design (CAD) [1-2].

Fused deposition modeling (FDM) is one of the widely used AM technique for fabricating three dimensional (3D) complex components by depositing the material layer by layer through a very fine liquefier nozzle that moves in X and Y direction (in the plane of build platform). After depositing one layer, the build platform (or the worktable) is lowered in Z direction and the next layer is added. In FDM technique, the model and support materials are deposited through a separate liquefier nozzles mounted on the extrusion head [3].

3D printers often generate parts that are modeled as solid objects in CAD software, but when fabricated, the shapes include user specific infill geometries, which replace the solid internal volume with a more material efficient, structural lattice known as infill. These infill geometries are generated by proprietary or open source slicing algorithms and are utilized to generate the numerical code or g-code necessary to manufacture using consumer-grade 3D printers, but unless deliberately accounted for in the CAD model, transform the geometry and thereby invalidates simulation results [4].

Usually a scaffold design uses of regular lattice structures with periodically repeating unit cells [5]. Scaffolds are porous structures that act as a substrate and enable the cells to adhere and grow by means of porous surface. Porous scaffold structures require some characteristics such as; proper porosity that enable the cells to attach to pore network and grow through the pores, necessary mechanical properties that mimic the tissue or non-defected natural bone, biocompatible with living tissue and eliminating or minimizing tissue rejection, a proper surface roughness to promote cell adhesion and spreading. By changing the type of unit cell, different mechanical properties can be obtained because of the coefficient of unit cells. Obtaining different unit cells allows for freedom in the design of porous scaffold that meets appropriate mass transport properties and pore size and in this way, the required mechanical properties can be achieved. Therefore, the scaffolds with different unit cell or hybrid structures which match and mimic strengths, stiffness, porosity and mechanical behavior, allows for avoiding stress shielding and stimulating bone regeneration. In this regard, researches about improving the properties of the scaffold by designing it as hybrid structure are continuing. Additionally, larger pores may be needed for the generation of the bone marrow through the center of the scaffold, while smaller pores may be needed away from the center of the scaffold for the transfer of the nutrition among the alive cells. All these investigations show that structurally hybrid designed scaffolds are promising for tissue engineering applications [6].

In this paper, we describe a novel hybrid scaffold with a graded pore structure similar to the bimodal structure of cortical and cancellous bones. Finite element (FE) analysis is carried for the scaffolds to simulate mechanical behavior. The goal of this study is to provide designers with an essential set of design guidelines based on experimentally obtained data and insights that they can rely on when designing hybrid scaffold.

2. Material and Method

The CAD images of the scaffolds and the coding of them are given in Figure 1. The scaffolds were designed as hybrid and they had three and two grade as 200-300-500 μm and 200-500 μm. In the experimental study, the scaffold was designed as 10x10x4 mm. The CAD data of the scaffolds were all changed in STL format and then translated into G-code sliced with slic3r (Figure 2). Slic3r is an open source slicer software. Porosity of the scaffolds was calculated using CATIA V5 program.

Porosity of the built scaffolds was calculated by weighing the scaffolds by using CATIA V5 program and calculating their mass using Eq.1

$$Porosity (\%) = \frac{W_{solid} - W_{scaffold}}{W_{solid}} \times 100 \quad (1)$$

Where W_{main} was the measured solid scaffold, W_{scaffold} was the measured weight of the scaffold.

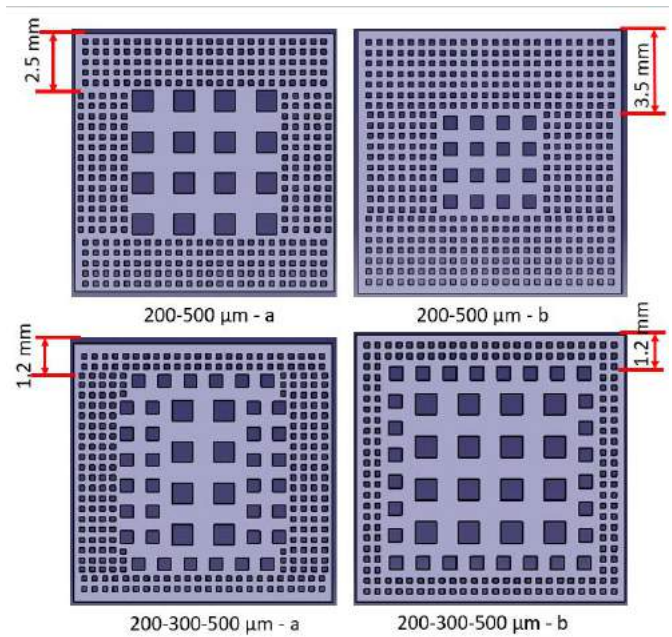


Figure 1. The CAD images of the scaffolds

Static analysis was done on the hybrid scaffolds with graded porosity by employing 100 N load. The material data used in CATIA V5 analysis was PLA (polylactic acid) with specifications as shown in Table 1.

Table 1. Material properties of PLA in CATIA V5 for static analysis

Properties	Value
Young Modulus	3.2x10 ⁹ N/m ²
Poisson Ratio	0.331
Density	1240 kg/m ³
Thermal Expansion	6.84x10 ⁻⁵ °K
Yield Strength	6x10 ⁷ N/m ²

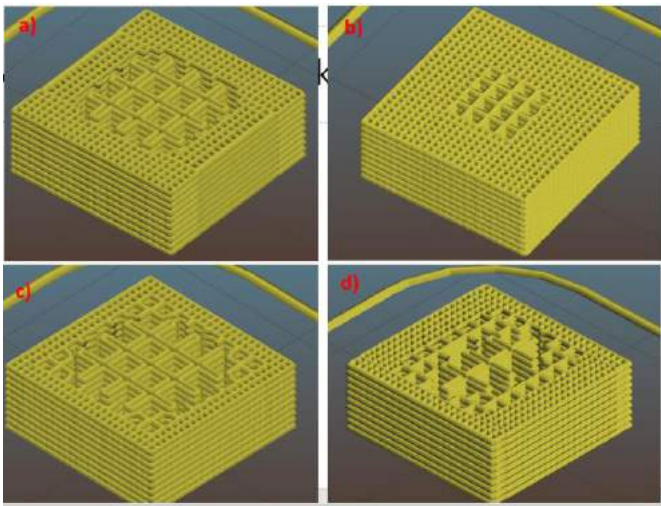


Figure 2. The CAD data of the scaffolds sliced with slic3r a) 200-500 μm -a, b) 200-500 μm -b, c) 200-300-500 μm -a, d) 200-300-500 μm -b

3. Results and Discussion

Static analysis was performed by using 100 N load. This test conditions were determined considering the literature and the real working conditions of bones. The result of stress analysis and distribution on the scaffolds can be seen in Figure 3. The maximum Von Misses stress was obtained at 200-300-500 μm -a scaffold as $2.94 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. The maximum stress was located on the smaller pores. It can be caused by smaller cross-section than the others can. The maximum deflection is 0.00445 mm as shown in Figure 4.

Porosity is known as the percentage of void area in a scaffold and is a crucial factor for scaffold design and bone formation. According to FEA results in Table 2, due to its lower porosity 200-500 μm -b hybrid scaffold had highest mechanical properties. Porosity had negative effect on the mechanical properties of the scaffolds.

Table 2. FEA results for the hybrid scaffolds

Scaffold	Max Displacement (mm)	Max. Von Mises Stress (N/m^2)	Porosity (%)
200-500 μm -a	0.00373	2.71×10^6	24.275
200-500 μm -b	0.00274	1.85×10^6	23.05
200-300-500 μm -a	0.00445	2.94×10^6	27
200-300-500 μm -b	0.00405	2.73×10^6	24.85

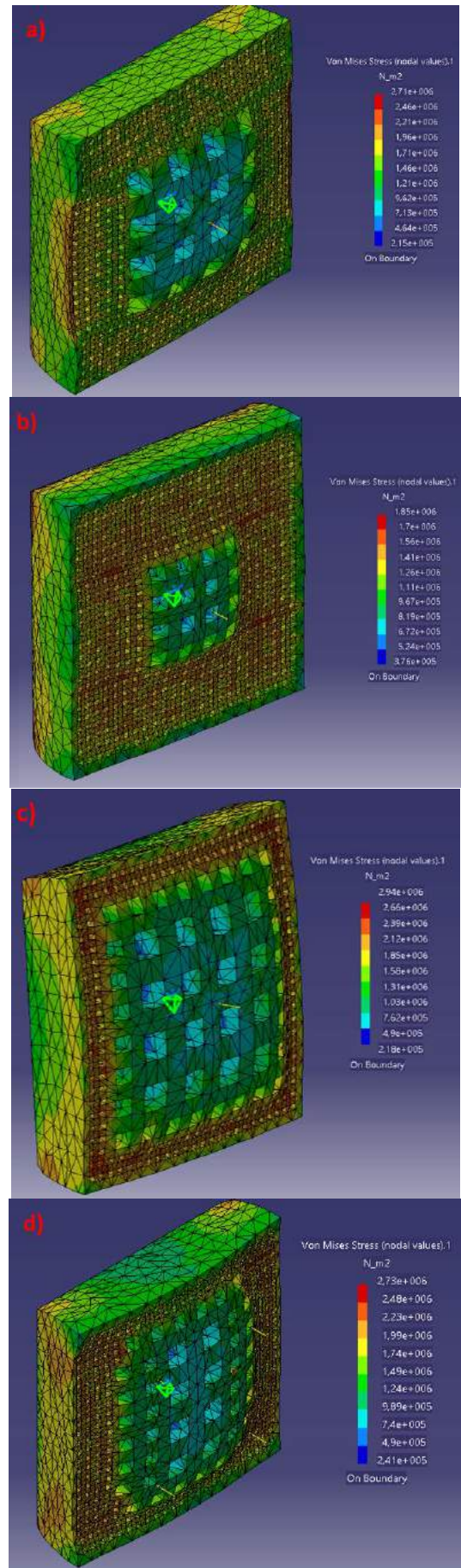


Figure 3. Von Mises Stress distribution under the load of 100 N a) 200-500 μm -a, b) 200-500 μm -b, c) 200-300-500 μm -a, d) 200-300-500 μm -b

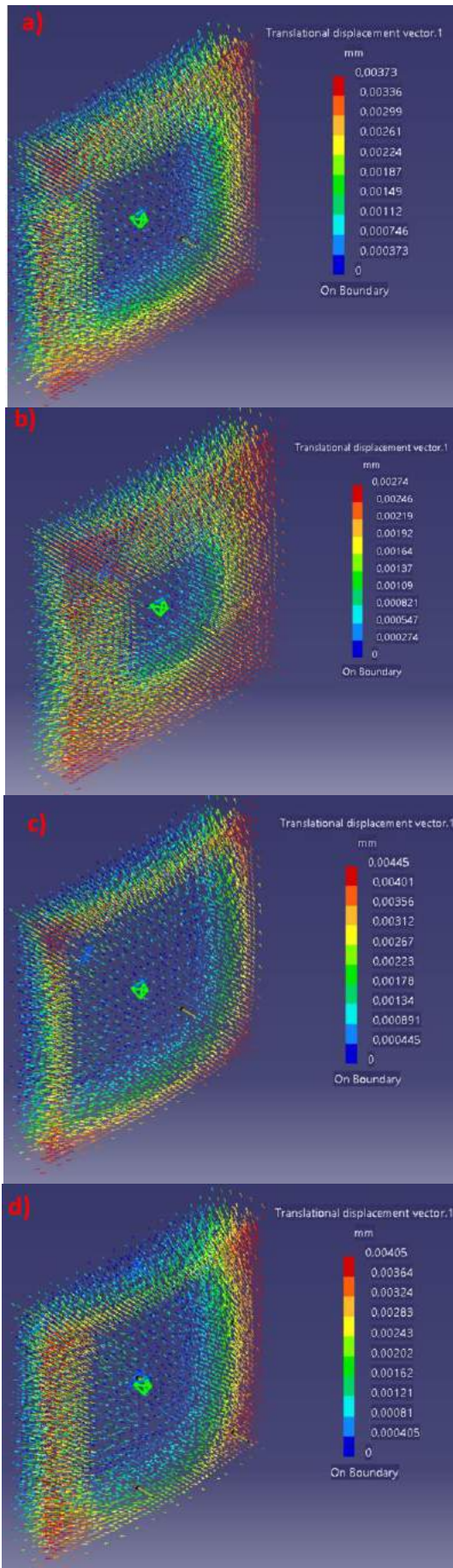


Figure 4 Displacement under the load of 100 N a) 200-500 μm -a, b) 200-500 μm -b, c) 200-300-500 μm -a, d) 200-300-500 μm -b

4. Conclusions

Stress analysis of the hybrid scaffolds with graded porosity is carried out and maximum stress is identified at the smaller pores. According to FEA results, due to its lower porosity 200-500 μm -b hybrid scaffold had highest mechanical properties. Porosity had negative effect on the mechanical properties of the scaffolds.

References

- [1] Barletta, M., Gisario, A., & Mehrpouya, M. (2021). 4D printing of shape memory polylactic acid (PLA) components: Investigating the role of the operational parameters in fused deposition modelling (FDM). *Journal of Manufacturing Processes*, 61, 473-480.
- [2] Shie, M. Y., Shen, Y. F., Astuti, S. D., Lee, A. K. X., Lin, S. H., Dwijaksana, N. L. B., & Chen, Y. W. (2019). Review of polymeric materials in 4D printing biomedical applications. *Polymers*, 11(11), 1864.
- [3] Garg, A., & Bhattacharya, A. (2017). An insight to the failure of FDM parts under tensile loading: finite element analysis and experimental study. *International Journal of Mechanical Sciences*, 120, 225-236.
- [4] Farbman, D., & McCoy, C. (2016, June). Materials testing of 3D printed ABS and PLA samples to guide mechanical design. In *International Manufacturing Science and Engineering Conference* (Vol. 49903, p. V002T01A015). American Society of Mechanical Engineers.
- [5] Surmeneva, M. A., Surmenev, R. A., Chudinova, E. A., Koptioug, A., Tkachev, M. S., Gorodzha, S. N., & Rännar, L. E. (2017). Fabrication of multiple-layered gradient cellular metal scaffold via electron beam melting for segmental bone reconstruction. *Materials & Design*, 133, 195-204.
- [6] Özeren, E., & Altan, M. (2020). Effect of structural hybrid design on mechanical and biological properties of CoCr scaffolds fabricated by selective laser melting. *Rapid Prototyping Journal*, 26(4), 615-624.



Mode-Matching Analysis of Acoustic Wave Propagation along a Rigid Coaxial Pipe with an Internal Impedance Loading

Hülya Öztürk^{1*}

^{1*} Gebze Technical University, Department of Mathematics, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7814-718X), h.ozturk@gtu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008469)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, H. (2021). Mode-Matching Analysis of Acoustic Wave Propagation along a Rigid Coaxial Pipe with an Internal Impedance Loading. *European Journal of Science and Technology*, (28), 515-518.

Abstract

Mathematical analysis of the acoustic wave propagation along the coaxial waveguide, whose right part of the outer wall is impedance-coated, is considered. By determining the boundary conditions corresponding to the relevant geometry, the boundary value problem is solved by applying the Mode-Matching technique. At the end of the analysis, numerical computations are carried out to illustrate the affect of some parameters. The results demonstrate the significance of the absorbing lining in reducing the unwanted noise.

Keywords: Mode-Matching, Coaxial Waveguide, Acoustics, Absorbent Lining.

Dış Duvarının Yarı Akustik Yutucu Malzeme ile Kaplı Rijit Koaksiyel Bir Boruda Akustik Dalgaların Yayılımının Mod-Uydurma ile Analizi

Öz

Dış duvarının yarı akustik yutucu malzeme ile kaplı koaksiyel bir boruda akustik dalgaların yayılımının analizi yapılmıştır. İlgili geometriye karşılık gelen sınır koşulları belirlenmiş ve bu koşullardan faydalanılarak mod uydurma tekniği ile sınır değer problemi çözülmüştür. Analizin sonunda ise, bazı parametrelerin ses yayılımına etkisi nümerik sonuçlar ile sunulmuştur. Akustik yutucu malzeme sayesinde istenmeyen gürültünün azaltılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mod-Uydurma, Koaksiyel Dalga Kılavuzu, Akustik, Yutucu Malzeme.

* Corresponding Author: h.ozturk@gtu.edu.tr

1. Introduction

The propagation of sound waves along ducts has been the focus of attention by researchers for many years due to its importance in noise reduction. There are a lot of analytical and numerical methods have been studied by many scientists [1-8]. One of the most effective methods is the Mode-Matching or eigenfunction expansion technique, which is based on representing the unknown fields in terms of an infinite sum of orthogonal functions in the individual regions and then matching them across the boundaries between these regions. This method has been applied in many papers [9-13] and give accurate results.

The present work deals with the mode-matching analysis of the coaxial waveguide problem. The critical situation here is that part of the outer wall is loaded with impedance. The aim is to show the effect of partial absorbing surface on sound propagation. For this purpose, the geometry is divided into two region and then the potentials satisfying boundary conditions in each region are established in terms of their normal modes by using separation of variables. The solution leads to infinite set of linear equations which are solved numerically. Finally, graphs are displayed for different parameters. It is observed that, the absorbing surface. has a significant effect on reducing harmful and undesired noise.

2. Formulation of the Problem

Assume an acoustic wave propagating in a coaxial duct shown Figure 1. The material properties of the right part of the outer wall is simulated by a specific admittance of $\eta = \rho_0 c / Z$ where c is the velocity of sound and Z is the liner impedance.

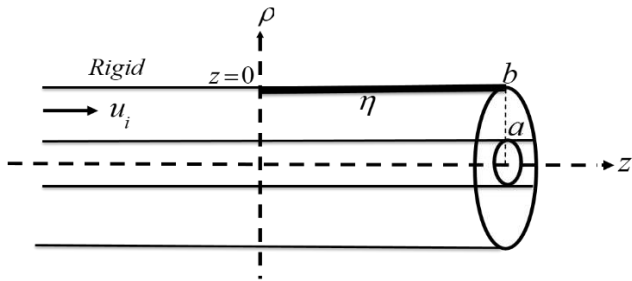


Fig. 1 Geometry of the problem.

Let an incident acoustic wave with time dependence $\exp(-i\omega t)$ where ω is the angular frequency is given by

$$u_i(z) = e^{ikz} \tag{1}$$

Here $k = \omega / c$ is the wave number. As it well known, the total field

$$u_T(\rho, z) = \begin{cases} u_1(\rho, z) + u_i(z) & ; a < \rho < b ; z \in (-\infty, 0) \\ u_2(\rho, z) & ; a < \rho < b ; z \in (0, \infty) \end{cases} \tag{2}$$

satisfies the Helmholtz equation

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] u_j(\rho, z) = 0, \quad j = 1, 2 \tag{3}$$

and the following boundary and continuity conditions:

$$\frac{\partial}{\partial \rho} u_T(a, z) = 0, \quad -\infty < z < \infty \tag{4}$$

$$\frac{\partial}{\partial \rho} u_1(b, z) = 0, \quad -\infty < z < 0 \tag{5}$$

$$\left(ik\eta - \frac{\partial}{\partial \rho} \right) u_2(b, z) = 0, \quad 0 < z < \infty \tag{6}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} u_1(\rho, 0) + \frac{\partial}{\partial z} u_i(0) = \frac{\partial}{\partial z} u_2(\rho, 0) \tag{7}$$

$$u_1(\rho, 0) + u_i(0) = u_2(\rho, 0) \tag{8}$$

The functions $u_j(\rho, z), j = 1, 2$ appearing in (3) are the unknown fields.

Solutions of Helmholtz equation (3) obtained by means of separation of variables method, with boundary conditions (4-6) are given by

$$u_1(\rho, z) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-i\alpha_n z} \varphi_n(\rho) \tag{9}$$

$$u_2(\rho, z) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n e^{i\chi_n z} \psi_n(\rho) \tag{10}$$

where a_n and b_n are the magnitudes of the reflected and transmitted duct mode, respectively. The eigenvalues α_n and χ_n are the solutions of

$$K_n \left[J_1(K_n a) - \frac{J_1(K_n b)}{Y_1(K_n b)} Y_1(K_n a) \right] = 0, \quad n = 1, 2, \dots \tag{11}$$

$$\xi_n \left[J_1(\xi_n a) - \frac{[ik\eta J_0(\xi_n b) + \xi_n J_1(\xi_n b)]}{[ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)]} Y_1(\xi_n a) \right] = 0, \quad n = 1, 2, \dots \tag{12}$$

with

$$\alpha_n = \sqrt{k^2 - K_n^2}, \quad n = 1, 2, \dots \tag{13}$$

$$\chi_n = \sqrt{k^2 - \xi_n^2}, \quad n = 1, 2, \dots \tag{14}$$

We define eigenfunctions as

$$\varphi_n(\rho) = \left[J_0(K_n \rho) - \frac{J_1(K_n b)}{Y_1(K_n b)} Y_0(K_n \rho) \right] \tag{15}$$

$$\psi_n(\rho) = \left[J_0(\xi_n \rho) - \frac{[ik\eta J_0(\xi_n b) + \xi_n J_1(\xi_n b)]}{[ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)]} Y_0(\xi_n \rho) \right] \tag{16}$$

Here J_n and Y_n ($n = 0, 1$) stand for Bessel and Neumann functions.

In order to obtain the solution let us apply continuity conditions (7) and (8):

$$-\sum_{m=1}^{\infty} a_m \alpha_m \varphi_m(\rho) + k = \sum_{n=1}^{\infty} \chi_n b_n \psi_n(\rho) \quad (17)$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} a_m \varphi_m(\rho) + 1 = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \psi_n(\rho) \quad (18)$$

Considering now the integral of (17) and (18) after multiplying the both sides with $\rho \psi_n(\rho)$ and using the following orthogonality relation

$$\int_a^b \psi_m(\rho) \psi_n(\rho) \rho d\rho = \frac{4ik\eta}{[ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)] \pi^2 b K_m Y_1(K_m b) (K_m^2 - \xi_n^2)} \quad (19)$$

give

$$-\frac{2}{\pi b} S(b, k, \eta, \xi_n) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m \alpha_m}{K_m Y_1(K_m b) (K_m^2 - \xi_n^2)} + \frac{k}{\xi_n^2} S(b, k, \eta, \xi_n) = \chi_n P_n b_n \quad (20)$$

$$\frac{2}{\pi b} S(b, k, \eta, \xi_n) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m}{K_m Y_1(K_m b) (K_m^2 - \xi_n^2)} + \frac{1}{\xi_n^2} S(b, k, \eta, \xi_n) = P_n b_n \quad (21)$$

where

$$S(b, k, \eta, \xi_n) = \frac{2ik\eta}{\pi [ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)]}, \quad P_n = \int_a^b \psi_n^2(\rho) \rho d\rho \quad (22)$$

As a result, constructing the system of linear equations properly the coefficients a_m and b_m can be determined numerically

3. Graphical Results

This section contains graphs of the transmission loss, written

$$TL = -20 \log_{10} |T_0|$$

for varied values of η , a and b.

Figures 2 and 3 show the modules of the reflection and transmission fields with respect to truncation number for infinite system (N). It can be seen that amplitudes become insensitive for $N > 3$. Hence N is chosen 10 in our computations.

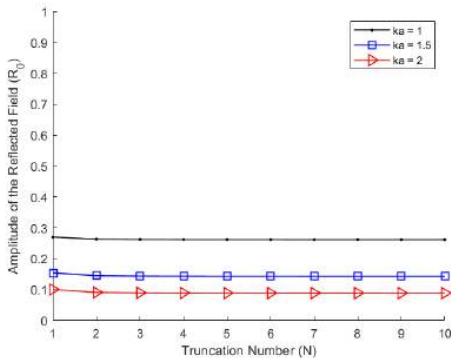


Fig. 2 Reflection field amplitude versus the truncation number N.

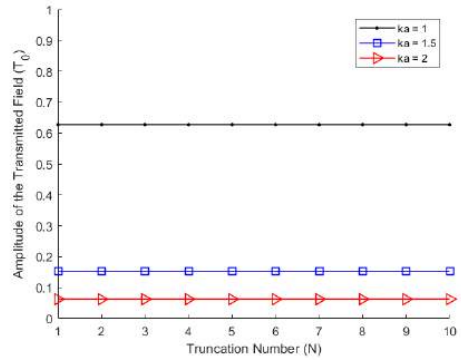


Fig. 3 Transmission field amplitude versus the truncation number N.

Figures 4 and 5 show the variation of transmission loss for different values of surface impedance (η). It can be easily seen that it is possible to decrease the transmission loss for different values η .

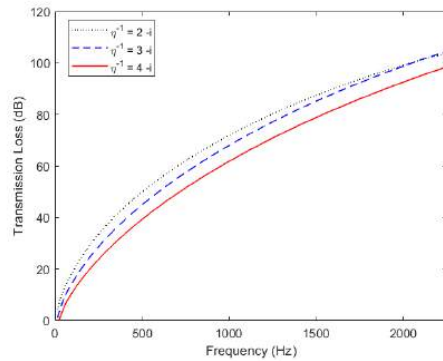


Fig. 4 Transmission loss for different values of real part of η^{-1} .

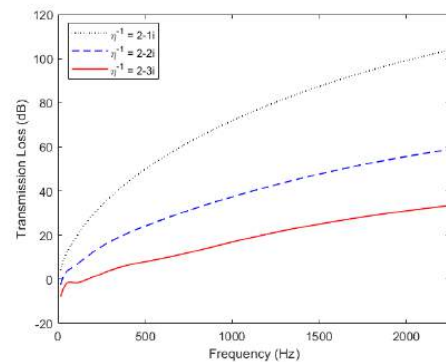


Fig. 5 Transmission loss for different values of imaginary part of η^{-1} .

Figures 6 and 7 depict the transmission loss variation for different values of duct radii a and b. These graphs were obtained when $\eta^{-1}=1-i$. One can see that the when a and b increase, the transmission loss decreases.

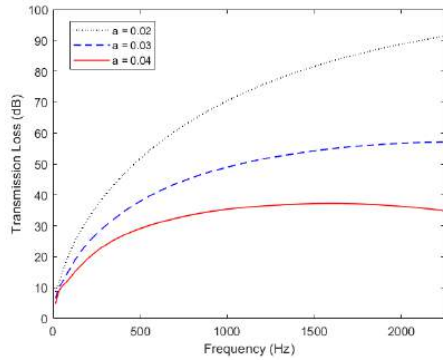


Fig. 6 Transmission loss for different values of duct radius a.

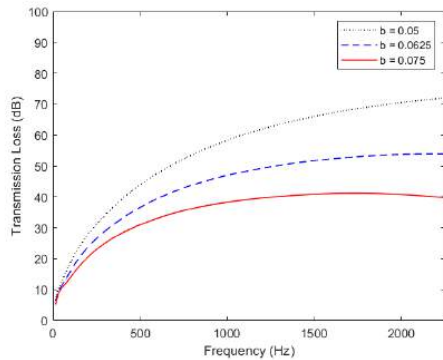


Fig. 7 Transmission loss for different values of duct radius b.

Finally, Figure 8 shows the contribution of the lining on noise reduction. As expected, the transmission field decreases with the effect of surface impedance.

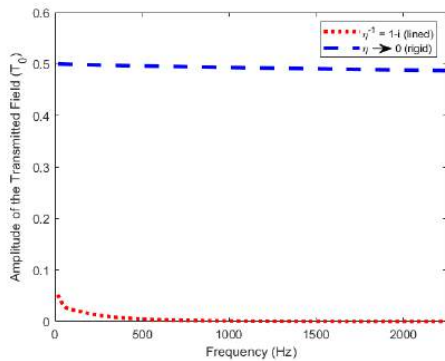


Fig. 8 Transmission field for rigid-lined duct.

5. Conclusion

In this study, the effect of partial lining to the sound transmission is studied through the Mode-Matching technique. Some numerical results are presented for some particular parameters. The results show that it is possible to reduce sound by changing the parameters. In addition, the results are compared with the rigid duct. It is observed that the use of lining provides significant sound absorption.

References

- [1] Rawlins, A. D. “Radiation of sound from an unflanged rigid cylindrical duct with an acoustically absorbing internal surface,” *Proc. R. Soc. A.*, vol. 361, pp. 65-91, 1978.
- [2] Rienstra, S. W. “Acoustic scattering at a hard–soft lining transition in a flow duct,” *J. Eng. Math.*, vol. 59, pp. 451-475, 2007.
- [3] Lawn, C. “Calculation of acoustic absorption in ducts with perforated liners,” *Appl. Acoust.*, vol. 89, pp. 211-221, 2015.
- [4] Çınar, G., Öztürk H., and Çınar, Ö. Y. “Reflection and transmission of plane acoustic waves in an infinite annular duct with a finite gap on the inner wall,” *Math. Methods Appl. Sci.*, vol. 34, pp. 220-230, 2011.
- [5] Levine H., and Schwinger, J. “On the radiation of sound from an unflanged circular pipe,” *Phys. Rev.*, vol. 73, pp. 383-406, 1948.
- [6] Sobolev, A. F., and Yakovets, M. A. “Application of the Wiener-Hopf method for describing the propagation of sound in cylindrical and rectangular channels with an impedance jump in the presence of a flow,” *Acoust. Phys.*, vol. 63, pp. 623-636, 2017.
- [7] Peake, N., and Abrahams, I. D. “Sound radiation from a semi-infinite lined duct,” *Wave Motion*, vol. 92, 102407, 2020.
- [8] Öztürk, H. “Radiation of acoustic waves from a circumferential slot on a circular waveguide,” *TWMS J. of Appl. and Eng. Math.*, vol. 10, pp. 690-701, 2020.
- [9] Hassan, M., Meylan, H. M., Bashir, A., and Sumbul, M. “Radiation matching analysis for wave scattering in triple and pentafurcated spaced ducts,” *Math. Methods Appl. Sci.*, vol. 39, pp. 3043-3057, 2016.
- [10] Shafique, S., Afzal, M., and Nawaz, R. “On mode-matching analysis of fluid structure coupled wave scattering between two flexible waveguides,” *Can. J. Phys.*, vol. 95, pp. 585-589, 2017.
- [11] Hassan, M., and Bashir, A. “Effect of soft outer lining in pentafurcated duct,” *Can. J. Phys.*, vol. 96, pp. 165-173, 2018.
- [12] Kuryliak, D. B., and Sharabura, O. M. “Wave diffraction from the biconical section in the semi-infinite conical region,” *Math. Methods Appl. Sci.*, vol. 43, pp. 1565-1581, 2019.
- [13] Khalid, A., Younas, S., Khan, I., Manzoor, R., Rab, N., and Sherif, E. M. “Mode-matching analysis for two-dimensional acoustic wave propagation in a trifurcated lined duct,” *J. Interdiscip Math.*, vol. 22, pp. 1095-1112, 2020.



Mode-Matching Analysis of Acoustic Wave Propagation along a Rigid Coaxial Pipe with an Internal Impedance Loading

Hülya Öztürk^{1*}

^{1*} Gebze Technical University, Department of Mathematics, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7814-718X), h.ozturk@gtu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008469)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, H. (2021). Mode-Matching Analysis of Acoustic Wave Propagation along a Rigid Coaxial Pipe with an Internal Impedance Loading. *European Journal of Science and Technology*, (28), 515-518.

Abstract

Mathematical analysis of the acoustic wave propagation along the coaxial waveguide, whose right part of the outer wall is impedance-coated, is considered. By determining the boundary conditions corresponding to the relevant geometry, the boundary value problem is solved by applying the Mode-Matching technique. At the end of the analysis, numerical computations are carried out to illustrate the affect of some parameters. The results demonstrate the significance of the absorbing lining in reducing the unwanted noise.

Keywords: Mode-Matching, Coaxial Waveguide, Acoustics, Absorbent Lining.

Dış Duvarının Yarı Akustik Yutucu Malzeme ile Kaplı Rijit Koaksiyel Bir Boruda Akustik Dalgaların Yayılımının Mod-Uydurma ile Analizi

Öz

Dış duvarının yarı akustik yutucu malzeme ile kaplı koaksiyel bir boruda akustik dalgaların yayılımının analizi yapılmıştır. İlgili geometriye karşılık gelen sınır koşulları belirlenmiş ve bu koşullardan faydalanılarak mod uydurma tekniği ile sınır değer problemi çözülmüştür. Analizin sonunda ise, bazı parametrelerin ses yayılımına etkisi nümerik sonuçlar ile sunulmuştur. Akustik yutucu malzeme sayesinde istenmeyen gürültünün azaltılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mod-Uydurma, Koaksiyel Dalga Kılavuzu, Akustik, Yutucu Malzeme.

* Corresponding Author: h.ozturk@gtu.edu.tr

1. Introduction

The propagation of sound waves along ducts has been the focus of attention by researchers for many years due to its importance in noise reduction. There are a lot of analytical and numerical methods have been studied by many scientists [1-8]. One of the most effective methods is the Mode-Matching or eigenfunction expansion technique, which is based on representing the unknown fields in terms of an infinite sum of orthogonal functions in the individual regions and then matching them across the boundaries between these regions. This method has been applied in many papers [9-13] and give accurate results.

The present work deals with the mode-matching analysis of the coaxial waveguide problem. The critical situation here is that part of the outer wall is loaded with impedance. The aim is to show the effect of partial absorbing surface on sound propagation. For this purpose, the geometry is divided into two region and then the potentials satisfying boundary conditions in each region are established in terms of their normal modes by using separation of variables. The solution leads to infinite set of linear equations which are solved numerically. Finally, graphs are displayed for different parameters. It is observed that, the absorbing surface. has a significant effect on reducing harmful and undesired noise.

2. Formulation of the Problem

Assume an acoustic wave propagating in a coaxial duct shown Figure 1. The material properties of the right part of the outer wall is simulated by a specific admittance of $\eta = \rho_0 c / Z$ where c is the velocity of sound and Z is the liner impedance.

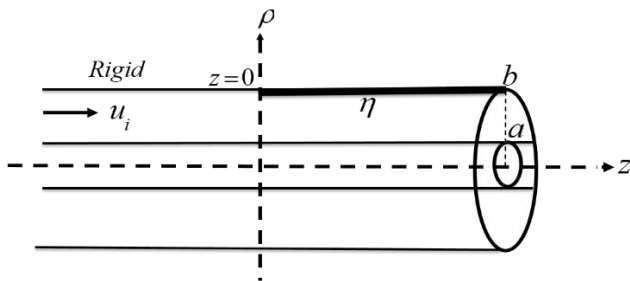


Fig. 1 Geometry of the problem.

Let an incident acoustic wave with time dependence $\exp(-i\omega t)$ where ω is the angular frequency is given by

$$u_i(z) = e^{ikz} \tag{1}$$

Here $k = \omega / c$ is the wave number. As it well known, the total field

$$u_T(\rho, z) = \begin{cases} u_1(\rho, z) + u_i(z) & ; a < \rho < b ; z \in (-\infty, 0) \\ u_2(\rho, z) & ; a < \rho < b ; z \in (0, \infty) \end{cases} \tag{2}$$

satisfies the Helmholtz equation

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] u_j(\rho, z) = 0, \quad j = 1, 2 \tag{3}$$

and the following boundary and continuity conditions:

$$\frac{\partial}{\partial \rho} u_T(a, z) = 0, \quad -\infty < z < \infty \tag{4}$$

$$\frac{\partial}{\partial \rho} u_1(b, z) = 0, \quad -\infty < z < 0 \tag{5}$$

$$\left(ik\eta - \frac{\partial}{\partial \rho} \right) u_2(b, z) = 0, \quad 0 < z < \infty \tag{6}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} u_1(\rho, 0) + \frac{\partial}{\partial z} u_i(0) = \frac{\partial}{\partial z} u_2(\rho, 0) \tag{7}$$

$$u_1(\rho, 0) + u_i(0) = u_2(\rho, 0) \tag{8}$$

The functions $u_j(\rho, z), j = 1, 2$ appearing in (3) are the unknown fields.

Solutions of Helmholtz equation (3) obtained by means of separation of variables method, with boundary conditions (4-6) are given by

$$u_1(\rho, z) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-i\alpha_n z} \varphi_n(\rho) \tag{9}$$

$$u_2(\rho, z) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n e^{i\chi_n z} \psi_n(\rho) \tag{10}$$

where a_n and b_n are the magnitudes of the reflected and transmitted duct mode, respectively. The eigenvalues α_n and χ_n are the solutions of

$$K_n \left[J_1(K_n a) - \frac{J_1(K_n b)}{Y_1(K_n b)} Y_1(K_n a) \right] = 0, \quad n = 1, 2, \dots \tag{11}$$

$$\xi_n \left[J_1(\xi_n a) - \frac{[ik\eta J_0(\xi_n b) + \xi_n J_1(\xi_n b)]}{[ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)]} Y_1(\xi_n a) \right] = 0, \quad n = 1, 2, \dots \tag{12}$$

with

$$\alpha_n = \sqrt{k^2 - K_n^2}, \quad n = 1, 2, \dots \tag{13}$$

$$\chi_n = \sqrt{k^2 - \xi_n^2}, \quad n = 1, 2, \dots \tag{14}$$

We define eigenfunctions as

$$\varphi_n(\rho) = \left[J_1(K_n \rho) - \frac{J_1(K_n b)}{Y_1(K_n b)} Y_0(K_n \rho) \right] \tag{15}$$

$$\psi_n(\rho) = \left[J_0(\xi_n \rho) - \frac{[ik\eta J_0(\xi_n b) + \xi_n J_1(\xi_n b)]}{[ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)]} Y_0(\xi_n \rho) \right] \tag{16}$$

Here J_n and Y_n ($n = 0, 1$) stand for Bessel and Neumann functions.

In order to obtain the solution let us apply continuity conditions (7) and (8):

$$-\sum_{m=1}^{\infty} a_m \alpha_m \varphi_m(\rho) + k = \sum_{n=1}^{\infty} \chi_n b_n \psi_n(\rho) \quad (17)$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} a_m \varphi_m(\rho) + 1 = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \psi_n(\rho) \quad (18)$$

Considering now the integral of (17) and (18) after multiplying the both sides with $\rho \psi_n(\rho)$ and using the following orthogonality relation

$$\int_a^b \psi_m(\rho) \psi_n(\rho) \rho d\rho = \frac{4ik\eta}{[ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)] \pi^2 b K_m Y_1(K_m b) (K_m^2 - \xi_n^2)} \quad (19)$$

give

$$-\frac{2}{\pi b} S(b, k, \eta, \xi_n) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m \alpha_m}{K_m Y_1(K_m b) (K_m^2 - \xi_n^2)} + \frac{k}{\xi_n^2} S(b, k, \eta, \xi_n) = \chi_n P_n b_n \quad (20)$$

$$\frac{2}{\pi b} S(b, k, \eta, \xi_n) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_m}{K_m Y_1(K_m b) (K_m^2 - \xi_n^2)} + \frac{1}{\xi_n^2} S(b, k, \eta, \xi_n) = P_n b_n \quad (21)$$

where

$$S(b, k, \eta, \xi_n) = \frac{2ik\eta}{\pi [ik\eta Y_0(\xi_n b) + \xi_n Y_1(\xi_n b)]}, \quad P_n = \int_a^b \psi_n^2(\rho) \rho d\rho \quad (22)$$

As a result, constructing the system of linear equations properly the coefficients a_m and b_m can be determined numerically

3. Graphical Results

This section contains graphs of the transmission loss, written $TL = -20 \log_{10} |T_0|$

for varied values of η , a and b .

Figures 2 and 3 show the modules of the reflection and transmission fields with respect to truncation number for infinite system (N). It can be seen that amplitudes become insensitive for $N > 3$. Hence N is chosen 10 in our computations.

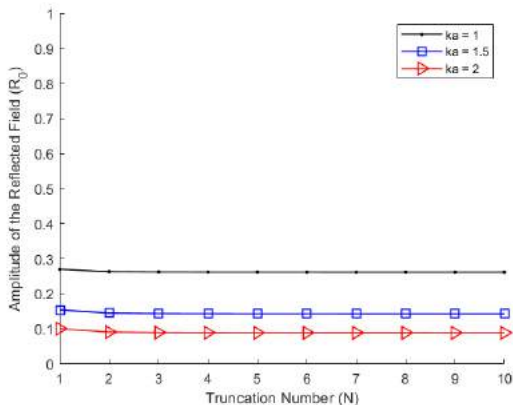


Fig. 2 Reflection field amplitude versus the truncation number

N.

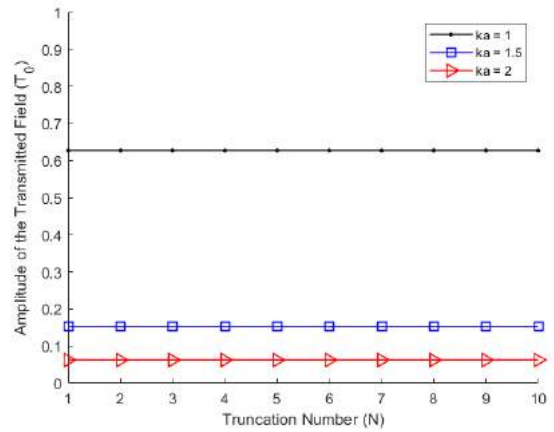


Fig. 3 Transmission field amplitude versus the truncation number N.

Figures 4 and 5 show the variation of transmission loss for different values of surface impedance (η). It can be easily seen that it is possible to decrease the transmission loss for different values η .

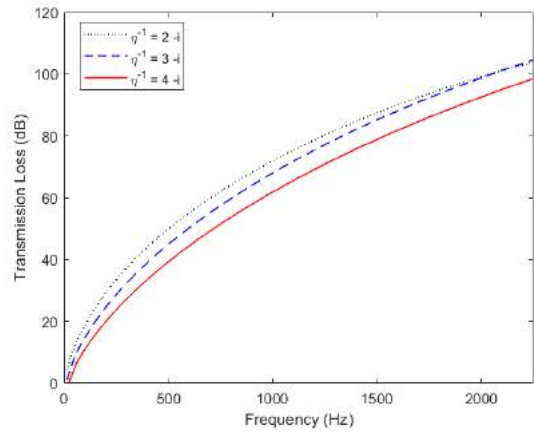


Fig. 4 Transmission loss for different values of real part of η^{-1} .

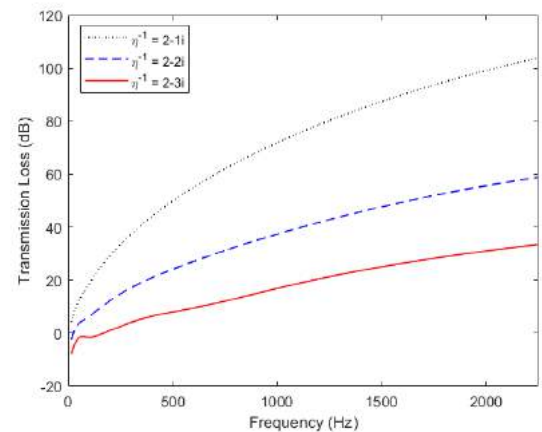


Fig. 5 Transmission loss for different values of imaginary part of η^{-1} .

Figures 6 and 7 depict the transmission loss variation for different values of duct radii a and b . These graphs were obtained when $\eta^{-1}=1-i$. One can see that the when a and b increase, the transmission loss decreases.

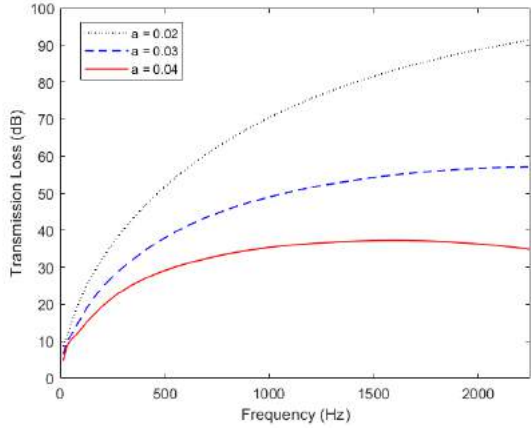


Fig. 6 Transmission loss for different values of duct radius a .

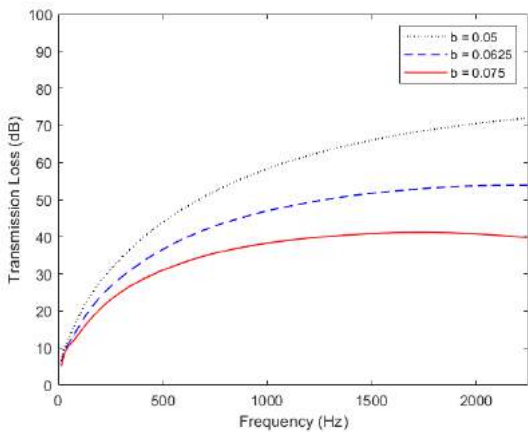


Fig. 7 Transmission loss for different values of duct radius b .

Finally, Figure 8 shows the contribution of the lining on noise reduction. As expected, the transmission field decreases with the effect of surface impedance.

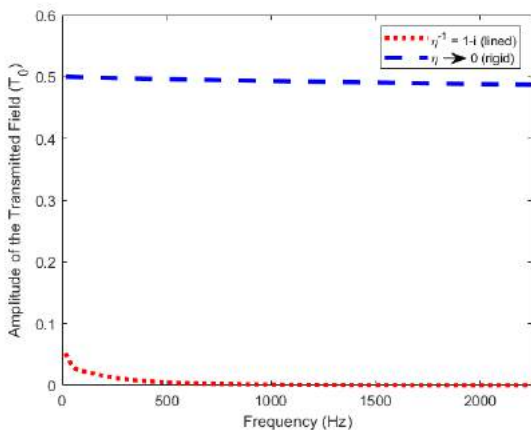


Fig. 8 Transmission field for rigid-lined duct.

5. Conclusion

In this study, the effect of partial lining to the sound transmission is studied through the Mode-Matching technique. Some numerical results are presented for some particular parameters. The results show that it is possible to reduce sound by changing the parameters. In addition, the results are compared with the rigid duct. It is observed that the use of lining provides significant sound absorption.

References

- [1] Rawlins, A. D. "Radiation of sound from an unflanged rigid cylindrical duct with an acoustically absorbing internal surface," *Proc. R. Soc. A.*, vol. 361, pp. 65-91, 1978.
- [2] Rienstra, S. W. "Acoustic scattering at a hard-soft lining transition in a flow duct," *J. Eng. Math.*, vol. 59, pp. 451-475, 2007.
- [3] Lawn, C. "Calculation of acoustic absorption in ducts with perforated liners," *Appl. Acoust.*, vol. 89, pp. 211-221, 2015.
- [4] Çınar, G., Öztürk H., and Çınar, Ö. Y. "Reflection and transmission of plane acoustic waves in an infinite annular duct with a finite gap on the inner wall," *Math. Methods Appl. Sci.*, vol. 34, pp. 220-230, 2011.
- [5] Levine H., and Schwinger, J. "On the radiation of sound from an unflanged circular pipe," *Phys. Rev.*, vol. 73, pp. 383-406, 1948.
- [6] Sobolev, A. F., and Yakovets, M. A. "Application of the Wiener-Hopf method for describing the propagation of sound in cylindrical and rectangular channels with an impedance jump in the presence of a flow," *Acoust. Phys.*, vol. 63, pp. 623-636, 2017.
- [7] Peake, N., and Abrahams, I. D. "Sound radiation from a semi-infinite lined duct," *Wave Motion*, vol. 92, 102407, 2020.
- [8] Öztürk, H. "Radiation of acoustic waves from a circumferential slot on a circular waveguide," *TWMS J. of Appl. and Eng. Math.*, vol. 10, pp. 690-701, 2020.
- [9] Hassan, M., Meylan, H. M., Bashir, A., and Sumbul, M. "Radiation matching analysis for wave scattering in triple and pentafurcated spaced ducts," *Math. Methods Appl. Sci.*, vol. 39, pp. 3043-3057, 2016.
- [10] Shafique, S., Afzal, M., and Nawaz, R. "On mode-matching analysis of fluid structure coupled wave scattering between two flexible waveguides," *Can. J. Phys.*, vol. 95, pp. 585-589, 2017.
- [11] Hassan, M., and Bashir, A. "Effect of soft outer lining in pentafurcated duct," *Can. J. Phys.*, vol. 96, pp. 165-173, 2018.
- [12] Kuryliak, D. B., and Sharabura, O. M. "Wave diffraction from the biconical section in the semi-infinite conical region," *Math. Methods Appl. Sci.*, vol. 43, pp. 1565-1581, 2019.
- [13] Khalid, A., Younas, S., Khan, I., Manzoor, R., Rab, N., and Sherif, E. M. "Mode-matching analysis for two-dimensional acoustic wave propagation in a trifurcated lined duct," *J. Interdiscip Math.*, vol. 22, pp. 1095-1112, 2020.



Polimer-Polimer Karışabilirliğinin Guguk Kuşu Arama Algoritmasına Dayalı Ağırlıklı Bulanık Sınıflandırma Sistemiyle Tahmini

Gözde Güldiken^{1*}, Mehmet Levent Koç², Dilek İmren Koç³

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4510-5303), guldikengozde@gmail.com

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4993-6152),
mkoc@cumhuriyet.edu.tr

³ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3657-3794), dimren@cumhuriyet.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008608)

ATIF/REFERENCE: Güldiken G., Koç M.L., İmren Koç D. (2021). Polimer-Polimer Karışabilirliğinin Guguk Kuşu Arama Algoritmasına Dayalı Ağırlıklı Bulanık Sınıflandırma Sistemiyle Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 519-525.

Öz

Bu çalışma, "ağırlıklı bulanık sınıflandırma sistemi" ile guguk kuşu aramasının birleşiminden oluşan yeni bir hibrit bulanık sınıflandırma sistemini çözümlenmiş sodyum aljinat/poli(etilen glikol) karışımlarının karışabilirlik tahmini için önermekte ve söz konusu bulanık sistemin tahmin etme yeteneğini incelemektedir. Test sonuçları, önerilen bulanık sistemin, iki farklı bulanık sisteme (Mamdani-Tip ve Sugeno-Tip) ve etkileşim parametrelerini (α , $\Delta\eta$ and β) kullanan geleneksel viskozimetrik analize kıyasla, daha yüksek doğru sınıflandırma oranı elde ettiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Sistem, Guguk Kuşu Araması, Polimer, Karışabilirlik, Viskozimetri

Prediction of Polymer-Polymer Miscibility by Cuckoo Search Algorithm Based Fuzzy Classification System

Abstract

This study proposes a new hybrid fuzzy classification system which combines "weighting fuzzy classification system" with cuckoo search algorithm in order to predict the miscibility of sodium alginate/poly(ethylene glycol) blends in solution phase and examines its predictive capability. The test results show that the proposed fuzzy system gets a more accurate classification rate than the two types of fuzzy systems (Mamdani-Type and Sugeno-Type) as well as traditional viscometric analysis using interaction parameters (α , $\Delta\eta$ and β).

Keywords: Fuzzy System, Cuckoo Search, Polymer, Miscibility, Viscometry

* Gözde Güldiken: guldikengozde@gmail.com

$$R_j: \text{Eğer } x_1 A_{j1} \text{ ve ... ve } x_n A_{jn} \text{ ise sınıf } CF_j \text{ ile } C_j \text{ dir,} \\ j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

1. Giriş

Son yıllarda yapılan bazı çalışmaların ortaya koyduğu sonuçlar, polimer-polimer karışabilirliğini tahmin etmek amacıyla "bulanıklık" altında gerçekleştirilecek viskozimetrik analizleri yeni çalışmalarla desteklenmesi gereken güncel araştırma konuları haline getirmiştir: Koç ve Koç (2016) klasik viskozimetrik analizi "bulanıklaştırma" aracı olarak temelde bulanık regresyonu kullanmışlar; Koç et al., (2019) ise bulanık (Mamdani, 1977) ve nöro-bulanık (Takagi, Sugeno, 1985) sistemleri önermişler ve bulanık regresyona/nöro-bulanık sisteme kıyasla bulanıklaştırmanın ve bulanıklık altında işlem yapmanın daha kolay ve hesaplama yönünden daha az maliyetli yolları olan bulanık sistemlerin, bu avantajlarına karşın, tahmin (sınıflandırma) yeteneklerinin geliştirilmelerine duyulan ihtiyacı vurgulamışlardır. Bulanık sistemlerin sınıflandırma yeteneklerinin iyileştirilmesine dönük temel yaklaşımlardan biri bulanık kural tabanının veri tabanı üzerinden, uzman bilgisine dayanmaksızın, kendiliğinden çıkarımı olup bu kapsamda önerilen yöntemlere örnek olarak "ağırlıklı bulanık sınıflandırma sistemi" (Ozkaya ve Seyfi, 2016; Nakashima et al., 2007) verilebilir. Burada, söz konusu yöntem, esas olarak, benzerlerinden sisteme ait girdilerin ağırlık faktörleriyle ayrıştırılmasıyla farklılık göstermekte ve amaç fonksiyonunun en küçükleme ile bulanık kural tabanının çıkarımına dayanmaktadır. En küçükleme işlemi için uygun optimizasyon tekniklerinden biri guguk kuşlarının "kuluçka asalaklığı" davranışını taklit eden guguk kuşu arama algoritması (Yang and Deb, 2013; Yang and Deb, 2014) olup görece yeni sayılabilen bu meta-sezgisel algoritmanın yaygın kullanılan genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, yapay arı koloni algoritması gibi tekniklere kıyasla daha iyi çözüm performansına sahip olduğu (Yang and Deb, 2013; Nawi et al., 2013; Kumar and Rawat, 2015; Samir et al., 2018; Ebenezer et al., 2019) ve daha önce klasik bulanık sınıflandırma sistemlerinin optimal tasarımında (Hodashinsky, 2015; Ding et al., 2015) sınırlı olarak kullanıldığı söylenebilir. Bu çalışmada, ağırlıklı bulanık sınıflandırma sistemi, sodyum aljinat/poli(etilen glikol) (SA/PEG) karışımlar örneğinde (Koç et al., 2019), guguk kuşu arama algoritmasına dayalı olarak polimer-polimer karışabilirlik tahminine literatürde ilk kez uygulanmış ve bu yolla i) bulanık sistemlerin karışabilirlik tahmin/sınıflandırma yeteneklerinin iyileştirilme olanaklarının araştırılması, ii) farklı alanlardaki bulanık sınıflandırma problemlerinin çözümüne de yardımcı olabilecek yeni bir hibrit bulanık sınıflandırma yaklaşımı ortaya konması amaçlanmıştır.

2. Yöntem: Ağırlıklı Bulanık Sınıflandırma Sistemi

Ağırlıklı bulanık sınıflandırma sistemi (ABSS), "ağırlık faktörleri" ile "ağırlıklandırılmış" bir eğitime veri kümesinden bulanık kural tabanının kendiliğinden çıkarımına dayanan, sınıflandırma amaçlı, bulanık kural tabanlı bir sistem olarak tanımlanabilir ve bulanık kural tabanındaki bir kural (R_j), n-boyutlu bir sınıflandırma problemi için, aşağıdaki şekilde verilebilir:

Burada, x_i sistemin girdi değişkeni ($i = 1, 2, \dots, n$), A_{ji} girdi değişkenine ait bulanık alt küme ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, N$) ve CF_j (j. kural için kesinlik derecesi) ile C_j (j. kural için göz önüne alınan probleme ait sınıflardan herhangi biri) sistemin çıktıları olup aşağıda verilen adımlarla belirlenebilir:

1. Adım: eğitime veri kümesine ait her bir girdi vektörü ($X_p = (x_{p1}, \dots, x_{pn})$) için bulanık alt kümelerin (A_{ji}^k) üyelik fonksiyonları $\mu_{ji}(\cdot)$ yardımıyla kurala ait $\mu_j(X_p)$ değerini hesapla ($k = 1, \dots, z$):

$$\mu_j(X_p) = \mu_{j1}(x_{p1}) \times \dots \times \mu_{jn}(x_{pn}), \\ p = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Bu çalışmada, girdi değişkenlerine ait toplam bulanık alt küme sayısı (z) dört olarak seçilmiş olup $k = 1, 2, 3$ ve 4 olarak etiketlenen bulanık alt kümeler için üyelik fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki şekillerde tanımlanmıştır:

$$\mu_{ji}(x_{pi}) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{pi} - c_i}{\sigma_i} \right)^2} & x_{pi} \leq c_i \\ 0 & x_{pi} > c_i \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{ji}(x_{pi}) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{pi} - c_i}{\sigma_i} \right)^2} \quad (4)$$

$$\mu_{ji}(x_{pi}) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{pi} - c_i}{\sigma_i} \right)^2} & x_{pi} \geq c_i \\ 0 & x_{pi} < c_i \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{ji}(x_{pi}) = 1 \quad (6)$$

2. Adım: probleme ait her bir sınıf (h) için $\beta_h(R_j)$ değerini eğitime veri kümesi ağırlık faktörleri (w_p) yardımıyla hesapla:

$$\beta_h(R_j) = \sum_{x_p \in h} \mu_{j1}(x_{p1}) \dots \mu_{jn}(x_{pn}) w_p, \quad h = 1, 2, \dots, C \quad (7)$$

3. Adım: $\beta_h(R_j) = \max(\beta_1(R_j), \dots, \beta_C(R_j))$ için sınıfı (C_j) h olarak belirle ve CF_j değerini hesapla:

$$CF_j = \frac{\beta_h(R_j) - \bar{\beta}}{\sum \beta_h(R_j)} \quad (8)$$

$$\bar{\beta} = \frac{\sum_{h \neq i} \beta_h(R_j)}{C - 1} \quad (9)$$

N adet kuraldan oluşan bulanık kural tabanının göz önüne alınması halinde ise bir girdi vektörü $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ için bulanık sistemin çıktısı (probleme ait sınıflardan herhangi biri) aşağıda verilen adımlarla belirlenebilir:

1. Adım: probleme ait her bir sınıf ($h = 1, 2, \dots, C$) için $\delta_h(X)$ değerini hesapla:

$$\delta_h(X) = \max\{\mu_j(X)CF_j | C_j = h\} \quad (10)$$

2. Adım: $\delta_{h^*}(X) = \max(\delta_1(X), \dots, \delta_C(X))$ için sistemin çıktısını h^* olarak belirle ve birden fazla sınıf için δ_{h^*} değeri eşit ise göz önüne alınan girdi vektörünü "sınıflandırılmaz" olarak etiketle.

Bulanık kural tabanının bir eğitme veri kümesinden (ağırlıklandırılmış) kendiliğinden çıkarımı, uygun bir "eğitme algoritması" yardımıyla aşağıda verilen amaç fonksiyonunun (F) minimizasyonu ile sağlanabilir:

$$F(S) = \sum_{p=1}^m w_p Z_p(S) \quad (11)$$

Burada, $Z_p(S)$ bulanık sistemin (S) çıktısı (sınıf) doğru ise $Z_p(S) = 0$ ve aksi durumda $Z_p(S) = 1$ değerini alan ikili bir değişken iken w_p eğitme veri kümesi için ağırlık faktörü olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, eğitme veri kümesi "sınıf tabanlı ağırlıklandırma" yöntemiyle (Nakashima et al., 2005) ağırlıklandırılmış ($w_p = (w_p^1, \dots, w_p^h, \dots, w_p^C)$) olup bulanık sınıflandırma sisteminin parametre vektörü, $S = (w_p^1, \dots, w_p^C, c_1, \dots, c_n, A_{11}^k, \dots, A_{1n}^k, A_{21}^k, \dots, A_{2n}^k, \dots, A_{Nn}^k)$, üzerinden tanımlanan amaç fonksiyonu, $F(S) = \sum_{p=1}^m w_p Z_p(S)$, guguk kuşu arama algoritması ile en küçüklenmiştir. Guguk kuşu arama algoritması, üç temel kurala dayalı olarak, guguk kuşlarının agresif üreme stratejilerini taklit eden bir optimizasyon tekniği olarak tanımlanabilir (Yang and Deb, 2013; Yang and Deb, 2014): 1) her bir guguk kuşu bir seferde bir yumurtayı rastgele seçilmiş bir yuvaya bırakır, 2) yüksek kaliteli yumurtalara veya çözümlere sahip en iyi yuvalar sonraki jenerasyonlara aktarılır, 3) uygun konak yuva sayısı sabittir ve konak kuşun, guguk kuşu tarafından bırakılan bir yumurtayı bir $P_a \in [0,1]$ olasılığı ile fark etmesiyle yumurta konak kuş tarafından yuvadan atılır ya da yuva konak kuş tarafından terk edilir. Guguk kuşu arama algoritmasının eğitme aşaması uygulaması için kaba-kod aşağıda verilmiştir:

Kadet konak yuva S_i için başlangıç popülasyonunu rastgele üret ve uygunluk/amaç fonksiyonu F_i değerlerini hesapla ($i = 1, \dots, K$)

While(durdurma kriteri)

Lévy uçuşu ile rastgele bir guguk kuşu al (varsayalım j) ve buna ait uygunluk değerini F_j hesapla.

K Yuva arasından rastgele bir yuva seç (varsayalım i)

if $F_j < F_i$ **then**

$S_i \leftarrow S_j$

$F_i \leftarrow F_j$

end if

Fraksiyon değerine (P_a) göre kötü yuvaları terk et ve Lévy uçuşu ile yenilerini inşa et.

Yeni yuvaların uygunluklarını amaç fonksiyonuna göre değerlendir.

En iyi yuvaları/çözümleri sakla.

Çözümleri sırala ve mevcut en iyi çözümü bul.

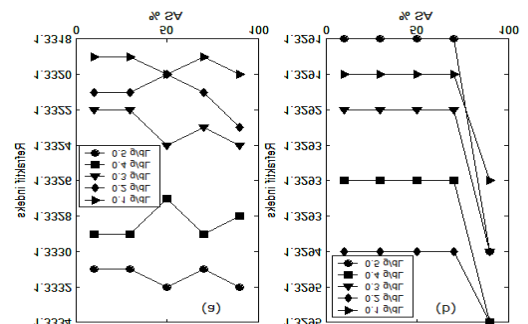
end while

Burada, Lévy uçuşu, Lévy dağılımı ile karakterize edilen bir tür "rassal yürüyüş" olarak tanımlanabilir (Yang and Deb, 2013) ve yeni çözümlerin aranması sırasında uçuşun ölçeği, adım büyüklüğü faktörü ($\alpha > 0$) ile kontrol edilir. Bu çalışmada, P_a ve α değerleri sırasıyla 0,2 ve 0,01 olarak seçilmiş olup durdurma kriteri olarak maksimum jenerasyon sayısı 1000 olarak alınmıştır.

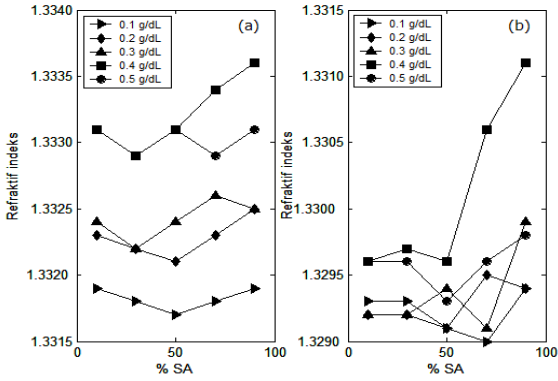
3. Bulgular ve Tartışma

SA/PEG sulu çözelti karışımlarının karışabilirlik tahminine yönelik olarak sunulan ABSS tipi bulanık sistemin eğitme/test aşamasında farklı derişim aralıkları (0,1-0,5 g/dL), karışım oranları (10/90, 30/70, 50/50, 70/30 ve 90/10 SA/PEG-4000 ve SA/PEG-8000) ve sıcaklıklar (30 °C ve 50 °C) için elde edilen α , $\Delta\eta$ ve β klasik etkileşim parametreleri (Tablo 1) ile birlikte refraktif indeks (Şekil 1 ve 2) değerlerinden (Koç ve ark., 2019) yararlanılmıştır. Bulanık sınıflandırma sisteminin girdileri α ve β etkileşim parametreleri olup bu girdi değişkenleri sırasıyla $\alpha_1(k=1)$, $\alpha_2(k=2)$, $\alpha_3(k=3)$, $\alpha_4(k=4)$ ve $\beta_1(k=1)$, $\beta_2(k=2)$, $\beta_3(k=3)$, $\beta_4(k=4)$ bulanık alt kümeleriyle/üyelik fonksiyonlarıyla (Eşitlik 3-6) temsil edilirken; KRZ (karışmaz) ve KR (karışabilir) sınıfları sistemin çıktısını oluşturmuştur.

Şekil 1. Refraktif indeks değerlerinin SA/PEG-4000 karışımları için SA içeriği ile a) 30 °C ve b) 50 °C'de değişimi (Koç ve ark. 2019)



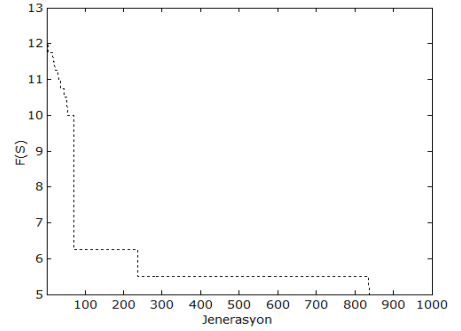
Şekil 2. Refraktif indeks değerlerinin SA/PEG-8000 karışımları için SA içeriği ile a) 30 °C ve b) 50 °C’de değişimi (Koç ve ark. 2019)



Tablo 1’de verilen veri kümesinin % 60’ı eğitime kalan kısmı ise test aşamasında kullanılmış ve eğitime aşaması (Şekil 3) sonucunda elde edilen parametre vektörüne karşılık gelen üyelik fonksiyonları Şekil 4 ve 5’de; bulanık kural tabanı ise aşağıda verilmiştir.

- R_1 : Eğer α_1 ve β_2 ise sınıf $CF_1 = 0.999$ ile KRZ dir
 R_2 : Eğer α_2 ve β_3 ise sınıf $CF_2 = 0.269$ ile KR dir
 R_3 : Eğer α_3 ve β_2 ise sınıf $CF_3 = 0.136$ ile KRZ dir
 R_4 : Eğer α_2 ve β_1 ise sınıf $CF_4 = 1.000$ ile KRZ dir

Şekil 3. Eğitime aşaması için amaç fonksiyonunun jenerasyon sayısına bağlı değişimi

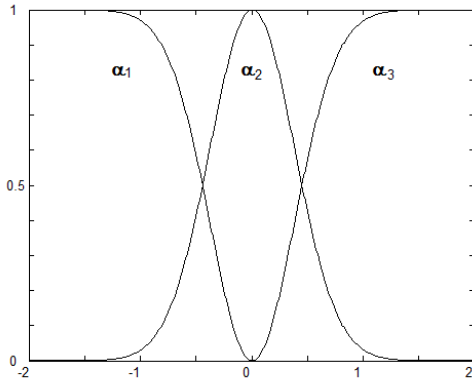


Tablo 1. SA/PEG karışımları için etkileşim parametreleri (Koç ve ark. 2019)

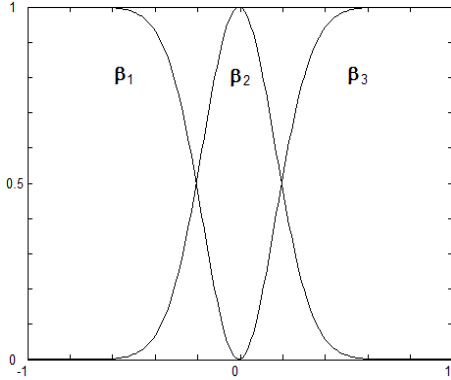
SA/PEG4000	SA İçeriği	Sıra No	C (g/dL)	30°C			Sıra No	50°C		
				α	$\Delta\eta$	β		α	$\Delta\eta$	β
	10/90	1*	0.1	1.114	5.023	0.4845	51*	1.753	3.802	0.691
		2	0.2	0.455	4.765	0.2207	52	1.005	3.526	0.470
		3	0.3	0.253	4.501	0.1281	53	0.426	3.347	0.212
		4	0.4	0.201	4.183	0.0994	54	0.331	2.988	0.167
		5*	0.5	0.101	3.582	0.0471	55	0.163	2.481	0.082
	30/70	6	0.1	1.606	7.120	0.7359	56	1.380	7.050	0.675
		7*	0.2	0.701	6.440	0.2783	57*	0.588	6.324	0.248
		8	0.3	0.457	5.583	0.1445	58	0.389	5.774	0.142
		9*	0.4	0.213	4.648	0.0549	59*	0.204	4.734	0.058
		10	0.5	0.105	3.024	0.0217	60*	0.087	3.622	0.022
	50/50	11	0.1	-0.014	14.113	-0.0018	61	0.045	11.493	0.032
		12*	0.2	-0.005	13.011	-0.0030	62*	0.041	10.319	0.010
		13*	0.3	0.000	11.561	-0.0025	63	0.023	9.397	0.002
		14	0.4	-0.002	10.010	-0.0023	64	0.014	7.676	-0.001
		15*	0.5	-0.001	7.363	-0.0014	65	0.001	5.959	-0.002
	70/30	16	0.1	-0.095	18.392	-0.0139	66*	0.079	14.318	0.028
		17*	0.2	-0.045	16.867	-0.0066	67	0.077	12.694	0.010
		18	0.3	-0.022	14.824	-0.0032	68	0.044	11.400	0.003
		19*	0.4	-0.013	12.657	-0.0019	69	0.017	8.999	0.000
		20	0.5	-0.006	8.987	-0.0010	70	0.005	6.677	-0.001
	90/10	21*	0.1	-0.051	21.223	-0.0019	71	-0.183	18.429	-0.006
		22	0.2	-0.022	19.275	-0.0011	72*	-0.069	16.356	-0.003
		23	0.3	-0.009	16.639	-0.0006	73	-0.039	14.691	-0.002
		24	0.4	-0.006	13.856	-0.0004	74*	-0.019	11.610	-0.001
		25*	0.5	-0.003	9.163	-0.0002	75	-0.012	8.682	-0.001
	10/90	26	0.1	1.292	5.855	0.5686	76*	0.909	3.984	0.3818
		27	0.2	0.799	5.557	0.3920	77*	0.576	3.812	0.3162
		28*	0.3	0.384	5.233	0.2020	78*	0.281	3.604	0.1748
		29*	0.4	0.129	4.832	0.0720	79*	0.079	3.193	0.0623
		30	0.5	0.119	4.301	0.0610	80*	0.076	2.640	0.0521
	30/70	31*	0.1	-1.187	12.582	-0.5524	81	0.421	6.804	0.1985
		32*	0.2	-0.574	11.870	-0.2428	82	0.349	6.160	0.1263
		33	0.3	-0.408	10.967	-0.1483	83	0.094	5.586	0.0186
		34*	0.4	-0.223	9.968	-0.0738	84	0.060	4.506	0.0063

SA/PEG8000	50/50	35	0.5	-0.143	8.399	-0.0389	85	0.042	3.359	0.0048
		36	0.1	-0.040	14.717	-0.0210	86*	-0.163	12.340	-0.0732
		37*	0.2	-0.030	13.592	-0.0151	87	-0.071	11.223	-0.0379
		38*	0.3	-0.014	12.109	-0.0083	88	-0.048	10.285	-0.0255
		39	0.4	-0.008	10.513	-0.0051	89	-0.023	8.536	-0.0135
	40*	0.5	-0.004	7.905	-0.0029	90	-0.015	6.793	-0.0083	
	70/30	41	0.1	-0.050	18.365	-0.0147	91*	0.880	13.493	0.1632
		42	0.2	-0.024	16.826	-0.0081	92	0.282	11.904	0.0226
		43	0.3	-0.013	14.764	-0.0045	93*	0.114	10.600	0.0023
		44*	0.4	-0.008	12.569	-0.0027	94*	0.074	8.182	0.0004
		45	0.5	-0.003	8.923	-0.0014	95	0.048	5.845	0.0003
	90/10	46	0.1	-0.081	21.966	-0.0063	96	0.839	15.031	0.0469
		47*	0.2	-0.038	20.014	-0.0030	97	0.319	12.969	0.0074
		48	0.3	-0.018	17.372	-0.0015	98	0.152	11.301	0.0015
		49	0.4	-0.010	14.580	-0.0008	99*	0.083	8.214	0.0002
50		0.5	-0.005	9.895	-0.0004	100*	0.041	5.282	-0.0001	

Şekil 4. α için bulanık alt kümeler



Şekil 5. β için bulanık alt kümeler



ABSS için test aşamasına ait sonuçlar ise Koç ve ark., (2019) tarafından aynı eğitime ve test kümelerine dayalı olarak geliştirilen Mamdani ve Sugeno tipi bulanık sistemlerle birlikte klasik etkileşim parametreleri (α , β ve $\Delta\eta$) ve refraktif indeks yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 2’de verilmiştir.

Çalışmanın ortaya koyduğu bulgular aşağıda kısaca özetlenmiştir: Klasik etkileşim parametreleri α , β ve $\Delta\eta$ değerlerine göre doğru sınıflandırma oranları sırasıyla % 77.5, 82.5 ve 65 olarak elde edilmesine karşın bu yöntemlerin birbiriyle uyumlu olmayan kararlara neden olduğu görülmektedir. Bu durum, daha önce detaylı olarak tartışıldığı (Koç ve ark.,2019) için burada yeniden ele alınmayacak olup elde edilen sonuçlar "bulanıklık altında karşılaştırılabilirlik analizinin" alternatif yollarla iyileştirilebileceğini (Koç ve ark.,2019) teyit eder niteliktedir: Refraktif indeks yöntemiyle alınan kararlar (KRZ veya KR) dikkate alındığında ABSS tipi modelin Sugeno ve Mamdani tipi sistemlere kıyasla daha başarılı olduğu görülmektedir; Mamdani ve Sugeno tipi sistemler için doğru sınıflandırma oranı sırasıyla % 85 ve % 73 (Koç ve ark.,2019) iken ABSS için bu değer % 90 olarak elde edilmiştir (Tablo 2). Burada, klasik bulanık sistemler (Sugeno ve Mamdani tipi) ile ABSS tipi modellerin, bulanık kural tabanlı modellemenin iki farklı yaklaşımını temsil ettiği söylenebilir. Sugeno ve Mamdani tipi sistemler uzman bilgisine dayalı ve sabit kural tabanlı modeller iken ABSS tipi modeller kural çıkarımını, bir veri tabanı üzerinden, kendiliğinden yapabilen; dolayısıyla göz önüne alınan bir sistemin davranışı modelleyebilen araçlar olarak değerlendirilebilir. Bu özellikleri nedeniyle, bu çalışmada da gösterildiği üzere klasik bulanık sistemlere (Sugeno ve Mamdani tipi) kıyasla, ABSS tipi bir model daha az sayıda bulanık kurala ihtiyaç duyması nedeniyle daha anlaşılabilir ve daha esnek bir modelleme aracı olarak kabul edilebilir ve bu durum, önerilen bulanık sınıflandırma modelinin daha az sayıda bulanık kural (dört adet) yardımıyla daha yüksek tahmin performansına ulaşmasının da nedeni olarak görünmektedir. Bu çalışma, ABSS tipi bir bulanık sistemin hibrit bir yaklaşım çerçevesinde guguk kuşu aramasına dayalı olarak bir optimizasyon problemi şeklinde formüle edilebileceğini ve guguk kuşu aramasının bu kapsamda uygun bir arama algoritması olduğunu da göstermektedir.

Tablo 2. Bulanık sistemler, etkileşim parametreleri ve refraktif indeks yöntemleriyle elde edilen karışabilirlik/karışmazlık karar/sınıflandırma durumları

Sıra No	α^*	β^*	$\Delta\eta^*$	Mamdani tipi sistem*	Sugeno tipi sistem*	ABSS	Refraktif indeks*
77	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
80	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
74	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
15	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
31	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
93	KR	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
76	KR	KR	KRZ	KR	KR	KR	KR
78	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
60	KR	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KR	KR
28	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KRZ
99	KR	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
17	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
9	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KRZ	KR
51	KR	KR	KRZ	KR	KRZ	KR	KR
7	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
29	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KRZ
13	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
47	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
66	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
37	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
25	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
5	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
38	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
59	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
91	KR	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
86	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
94	KR	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
44	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
21	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
72	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
40	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
32	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
62	KR	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KR	KR
12	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
19	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
57	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KR
1	KR	KR	KRZ	KR	KR	KR	KR
34	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ
79	KR	KR	KRZ	KRZ	KR	KR	KRZ
100	KR	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ	KRZ

4. Sonuç

Bu çalışmada, önerilen ABSS tipi model polimer-polimer karışımların karışabilirlik/karışmazlık tahminine SA/PEG karışımlar örneğinde uygulamıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen modelin klasik (bulanık) sistemlere kıyasla daha yüksek tahmin performansına sahip olduğunu; polimer-polimer karışabilirlik tahminlerinin viskometrik verilerin bulanıklık altında işlenmesi yoluyla iyileştirilebileceğini ve bunun karar almayı kolaylaştırabileceğini göstermiştir.

Kaynakça

- Ding, X., Xu, Z., Cheung, N.J., Liu, X., Parameter estimation of Takagi-Sugeno fuzzy system using heterogeneous cuckoo search algorithm, Neurocomputing 151, 1332-1342, 2015.
- Ebenezer, N.G.R., Ramabalan, S., Navaneethasanthakumar, S., Advanced design optimization on straight bevel gears pair based on nature inspired algorithms, SN Applied Sciences 1:1155, 2019.
- Hodashinsky, I.A., Minina, D. Yu., and Sarin, K.S., Identification of the parameters of fuzzy

- approximators and classifiers based on the cuckoo search, *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 51:3, 234-240, 2015.
- Koç, D.İ., Koç, M.L., Fuzzy viscometric analysis of polymer-polymer miscibility based on fuzzy regression, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 157, 58-66, 2016.
- Koç, D.İ., Özel Ergün, N., Koç, M.L. Prediction of miscibility of sodium alginate/poly (ethyleneglycol) blends by fuzzy systems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34:2 635-646, 2019.
- Kumar, M., Rawat, T.K., Optimal fractional delay-IIR filter design using cuckoo search algorithm. *ISA Transactions* 59:39-54, 2015.
- Mamdani, E.H., Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems, *Fuzzy Sets and Systems* 26, 1182-1191, 1977.
- Nakashima, T., Schaefen, G., Yokota, Y., Ishibuchi, H., A weighted fuzzy classifier and its application to image processing tasks, *Fuzzy Sets and Systems* 158, 284-294, 2007.
- Nawi, N.M., Khan, A., Rehman, M.Z., A new Levenberg Marquardt based backpropagation algorithm trained with cuckoo search, *Procedia Technology* 11, 18-23, 2013.
- Ozkaya, U., Seyfi, L. A novel fuzzy logic model for intelligent traffic systems. *Electronics World*, 122(1960), 36-39, 2016.
- Samir, K., Brahim, B., Capozucca, R., Wahab, M.A., Damage detection in CFRP composite beams based on vibration analysis using proper orthogonal decomposition method with radial basis functions and zuckoo search algorithm, *Composite Structures*, 187, 344-353, 2018.
- Takagi, T., Sugeno, M., Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 15(1), 116-132, 1985.
- Yang, X.S., Deb, S., Multi objective cuckoo search for design optimization, *Computers & Operations Research* 40, 1616-1624, 2013.
- Yang, X.S., Deb, S., Cuckoo search: Recent advances and applications, *Neural Computing and Applications* 24, 169-174, 2014.



Çalışanların Çevrimiçi Değerlendirmelerinin İş Tatmini Faktörlerini Belirlemeye ve Analiz Etmeye Yönelik Olarak Makine Öğrenmesine Dayalı Analizi

Ali Özdemir¹, Aytuğ Onan², Vildan Çınarlı Ergene^{3*}

¹Matematik /Fen Edebiyat Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9330-7084), acaozdemir@gmail.com

²Bilgisayar Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9434-5880), aytugonan@gmail.com

^{3*} Matematik / Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1220-3337), vildan.cinarli@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.1008393)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, A., Onan, A., & Çınarlı Ergene, V. (2021). İş Tatmini Faktörlerini Belirlemeye Ve Analiz Etmeye Yönelik Olarak Çalışanların Çevrimiçi Değerlendirmelerinin Makine Öğrenmesine Dayalı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 526-530.

Öz

Yapay zeka teknolojilerinden biri olan makine öğrenmesi teknikleri günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi teknikleri ile hızlı ve güvenilir şekilde tahminlemeler yapılabilmektedir. Makine öğrenmesine ait birçok algoritma mevcut olup, problemin kaynağına ve veri sayısına göre hangi algoritmanın kullanılacağına karar verilmektedir. Farklı algoritmalar, kullanılan veriye göre özgülük ve duyarlılık değerleri üretmektedir. Kullanılan veriye göre bu değerler göz önünde bulundurularak farklı algoritmalar arasından en iyi uyum sağlayan algoritma tercih edilerek sonuç iyileştirilir ve zaman maliyeti azaltılır.

Metin madenciliği son yıllarda hızla gelişen bir alan haline geldi ve bu alandaki uygulamalar yapay zeka alanındaki uygulamaların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. İnsan kaynakları departmanlarının işletme yöneticileri çeşitli konularda kararlar almaktadırlar. Metinsel veriler de dahil olmak üzere daha fazla veri oluşturulup biriktikçe işletme yöneticileri şirketleri ile ilgili karar verirken metin madenciliğini kullanarak bu tür verilerden uygulanabilir bilgi elde edebilirler.

Bu çalışma iş tatmini faktörlerini belirlemeye ve analiz etmeye yönelik olarak çalışanların çevrimiçi değerlendirmelerinin makine öğrenmesine dayalı analizini elde etmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar hakkında bilgi vermektedir. Çalışanların şirketleri hakkında yaptıkları yorumlardan 1 ve 2 puan olanlar negatif, 3,4 ve 5 puanlar pozitif olarak değerlendirilmiş olup toplamda 18 firmadaki 2321 pozitif yorum ve 702 negatif yorum ele alınarak makine öğrenmesine dayalı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Metin belgesindeki özniteliklerin belirlenmesinde terim varlığı, terim sıklığı gibi temel temsil yöntemleri ve 1-gram, 2-gram, 3-gram modelleri dikkate alınarak incelenen veri seti için farklı temsil yöntemlerinin doğru sınıflandırma başarımları, F-ölçütü, duyarlılık, hassasiyet ölçütleri 5 temel sınıflandırıcı aracılığıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Makine öğrenmesi, Metin madenciliği, Sınıflandırıcı topluluğu

Machine Learning Based Analysis of Employees' Online Assessments to Identify and Analyze Job Satisfaction Factors

Abstract

Machine learning techniques, one of the artificial intelligence technologies, are widely used today. With machine learning techniques, predictions can be made quickly and reliably. There are many algorithms of machine learning, and it is decided which algorithm to use according to the source of the problem and the number of data. Different algorithms produce specificity and sensitivity values according to the data used. Considering these values according to the data used, the best fit algorithm among the different algorithms is preferred, improving the result and reducing the time cost.

Text mining has become a rapidly developing field in recent years and applications in this field constitute a large part of applications in the field of artificial intelligence. Business managers of human resources departments make decisions on various issues. As more data, including textual data, is created and accumulated, business managers can derive actionable insights from such data by using text mining when making decisions about their companies.

This study provides information about the studies carried out to obtain machine learning-based analysis of online evaluations of employees to determine and analyze job satisfaction factors. Among the comments made by the employees about their companies, 1

* Sorumlu Yazar: vildan.cinarli@gmail.com

and 2 points were evaluated as negative, 3,4 and 5 points were evaluated as positive, and a total of 2321 positive comments and 702 negative comments from 18 companies were analyzed, based on machine learning.

Accurate classification performances of different representation methods, F-criterion, sensitivity, precision criteria for the analyzed data set, taking into account the basic representation methods such as term presence, term frequency, and 1-gram, 2-gram, 3-gram models in determining the features in the text document. 5 basic classifiers evaluated comparatively.

Keywords: Machine learning, Text mining, Classifier ensemble

1. Giriş

Her düzeydeki çalışanın bir süre sonunda işinde, çalıştığı kurumda ve iş çevresinde bir dizi deneyimi oluşur. Çalışma yaşamında birtakım beklentileri vardır ve yanı sıra gördükleri, yaşadıkları olaylar ile kazanç ve kayıpları dolayısıyla sevinç ve üzüntüleri olur. Kişi tüm bu deneyimleri sonucu, işine ve iş çevresine karşı tutumlar geliştirir. İş tatmini bireysel-duygusal bir tutum olduğundan açıkça gözlenemez, sadece ifade edilebilir ve ancak bireye sorarak öğrenilebilir. Çalışanın kendisi, işe bakış yöntemiyle işinden ne derece tatmin sağladığını bilebilir. Bir çalışanın işten tatmini işinden ne istediği, kendi geliştirdiği değerlerine ve ekonomik, psikolojik, toplumsal gereksinimlerine dayanır [1].

Günümüzde insanlar işler ve çalıştıkları işyerleri hakkındaki görüşlerini internette ifade edebilmektedirler. Bu kişisel kayıtlar, sosyal psikologlar, pazarlama zekâsı ve fikir madenciliği araştırmaları için zengin ve kullanışlı bir kaynak oluşturmaktadır [2],[3]. Metinsel veriler aynı zamanda büyük ticari değere sahiptir. Şirketler bu verileri müşterilerinin profilini çıkarmaya veya müşteri eğilimlerini anlamaya yardımcı olmak için kullanmaktadır. Bu durum müşterilere daha kişiselleştirilmiş bir deneyim sunmak veya hedefli pazarlama yapmak için bilgi olarak kullanılabilir. Teknolojinin gelişmesi ile çok sayıda çalışan çalışmış oldukları işyerleri hakkında geri bildirimde bulunmaktadır ve araştırmamızda bu değerlendirmeler veri seti olarak kullanılacaktır. Bu verilerden elde edilen sonuçlar, işletme yöneticilerine çalışanlarını yönetme konusunda karar vermelerine ve çalışanlarının iş tatminini çeşitli yönlerden sağlayabilmeleri için faydalı olacaktır.

İş tatmini çalışanın motivasyonu ve performansı ile ilgili olduğu için, firmaların rekabet avantajı elde etmek için çalışanlarının iş tatmini seviyelerinin yüksek olması önemlidir. Konu ile ilgili yapılmış olan araştırmaların çoğu çevrimiçi çalışan incelemelerini analiz eden iş tatmini faktörleri ve firma performansı arasındaki ilişkilere veya iş arayanlar için değer önerilerine odaklanma eğilimindedir. Ancak, çalışanların iş tatmini faktörlerinin çevrimiçi çalışandan belirlenmesi ve bu faktörlere göre yönetsel kararlar elde etme çalışmalarında hala eksiklikler mevcuttur. Bu çevrimiçi değerlendirmeler, çalışanların şirketleri hakkında beğendikleri veya beğenmedikleri yorumları içerir. Yapılan bu değerlendirmeler sayesinde iş tatmini faktörlerini belirlemek ve çalışanların bu faktörler hakkındaki düşüncelerini analiz etmek için çok iyi kaynaklardır.

2. Materyal ve Metot

Literatürde bu alanda birçok çalışma mevcuttur fakat iş tatmini faktörlerine yönelik çalışma pek fazla çalışma bulunmamaktadır. Metin sınıflandırma alanının bir alt dalı olan metinlerde duygu analizi konusunda yaptıkları çalışmada, İngilizce Twitter mesajlarını (tweet), olumlu (positive), tarafsız (neutral) ya da olumsuz (negative) olmak üzere 3 adet sınıf ile sınıflandırmaya çalışmışlardır. Öznitelik vektörü oluşturulurken 1-gram (unigram), 2-gram (bigram) ve POS öznitelik temsili

yöntemleri kullanılırken, sınıflandırıcı olarak NaiveBayes, Maksimum Entropi ve Destek Vektör Makineleri kullanılmıştır [4].

Çalışmamızda çalışanların çevrimiçi değerlendirmelerinin sınıflandırıcı topluluklarına dayalı analizi yapılması amacıyla çalışan kişilerin çalışmış oldukları firmalar hakkındaki düşünceleri tr.indeed.com'da yayınlanan toplam 18 farklı firmadan elde edilen 3023 adet çevrimiçi değerlendirme elde edilmiştir. Sistemde kullanılacak olan veriler ilk olarak WEKA programında hataları düzeltilerek ön işlemden geçirilmiştir. Ön işlemden geçirilen çevrimiçi değerlendirmeler, öznitelik temsili yöntemlerinden terim sıklığı (TermFrequency-TF), terim varlığı (TermPresent-TP) ve TF-IDF ölçütleri için N-gram temsili modellerinden olan 1-gram, 2-gram ve 3-gram temsilleri ile toplam dokuz farklı veri temsili elde edilmiştir. Daha sonra çıkarılan öznitelikler ağırlıklandırılmıştır ve elde edilen verileri arff (Attribute Relational File Format) formatına dönüştürülerek sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. 5 temel sınıflandırıcı olarak NaiveBayesMultinomial, lazy.IBk, Random.forest, functions.Logistic ve functions.LibLINEAR kullanmış ve makine öğrenmesine dayalı deneysel sonuçlar yapılmıştır.

Çevrimiçi değerlendirme yapılan firmaların adı ve kaç adet pozitif ve negatif yorum yapıldığını belirten bilgiler aşağıdaki tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 1. Çevrimiçi değerlendirme yapılan firmalara ait yorum sayıları

Firma adı	Pozitif (3-4-5 puan)	Negatif (1-2 puan)	Toplam Firma Sayısı
VESTEL	85	16	101
BOSCH	37	3	40
ARÇELİK	151	23	174
SIEMENS	33	2	35
MC DONALDS	151	54	205
BURGER KING	170	49	219
DOMİNOS	13	21	89
KOTON	0	43	173
LC WAIKIKI	337	49	386
DE FACTO	189	32	221
STARBUCKS	86	8	94
KAHVE DÜNYASI	38	16	54
TURKCELL	0	24	158
TURK TELEKOM	0	33	212
VODAFONE	0	23	161
BİM A.Ş.	113	39	152
A101	248	260	508
MIGROS	34	7	41

2.1. Deneysel Süreç

Terim ağırlıklandırma bir terimin döküman içerisinde ne kadar önemli olduğunu belirtmek amacıyla oluşturulan terim vektöründe her bir terim için ağırlık belirleme işlemidir [4]. Literatürde terim ağırlıklandırma ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Kısa mesajları önceden belirlenmiş sınıflara göre sınıflandırma işlemi öncesinde, öznitelik vektörlerinin oluşturulması ve ağırlıklandırma metodları ile başarının artırılması konusu üzerinde durmuşlardır. Çalışmada yaygın kelimeler (commonwords) değerlendirmeden çıkarıldıktan sonra, kalan kelimelerin kökleri saptanmış ve Open NLP adlı bir araç vasıtasıyla isim, sıfat ve fiiller etiketlenmiştir. Son olarak elde edilen bu vektör uzay modeli TF-IDF yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Sınıflandırma öncesi gerçekleştirilen bu adımların, başarıyı arttırdığı gözlenmiştir [5].

Yaptığımız çalışmada ise özniteliklerin ağırlıklandırılması için TF (Terim Frekansı), TP (Terim Varlığı) ve TF-IDF (Terim Frekansı-Ters Belge Frekansı) olmak üzere üç farklı ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak 1-gram, 2-gram ve 3-gram temsilleri ile toplam dokuz farklı konfigürasyon aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

- IDF FALSE
TF TRUE

OUTPUTWORDCOUNTS TRUE alınarak;
TF_unigram, TF_bigram ve TF_trigram oluşturuldu,

- IDF TRUE
TR TRUE

OUTPUTWORDCOUNTS TRUE alınarak;
TFIDF_unigram, TFIDF_bigram ve TFIDF_trigram oluşturuldu,

- IDF FALSE

TF FALSE alınarak TP_unigram, TP_bigram ve TP_trigram oluşturuldu.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Weka tabanlı Java uygulaması ile elde edilen toplam 9 adet konfigürasyonun analizleri için 5 temel sınıflandırıcı olarak NaiveBayesMultinomial, lazy.IBk, Random.forest, functions.Logistic ve functions.LibLINEAR kullanmıştır. Buna göre toplamda 45 tane deney elde edilmiş oldu. Deneysel analizlerin sonuçları aşağıda Tablo2.'de sunulmuştur.

Tablo2.Temel sınıflandırma algoritmalarına dayalı analizler

Algoritma	Veri seti için elde edilen sonuçlar				
NaiveBayesMultinomial	CorrectlyClassifiedInstances	Precision	Recall	F-Measure	Time takentobuild model:
TF_bigram.arff	80.6484%	0,79	0,806	0,775	0.02 seconds
TF_trigram.arff	78.2005%	0,772	0,782	0,711	0 seconds
TF_unigram.arff	83.0301%	0,82	0,83	0,821	0 seconds
TFIDF_bigram.arff	76.6457%	0,766	0,766	0,766	0 seconds
TFIDF_trigram.arff	73.0731%	0,701	0,701	0,712	0 seconds
TFIDF_unigram.arff	80.4830%	0,807	0,805	0,806	0 seconds
TP_bigram.arff	80.2845%	0,785	0,785	0,786	0 seconds
TP_trigram.arff	76.3480%	0,721	0,763	0,725	0 seconds
TP_unigram.arff	82.1700%	0,814	0,822	0,817	0 seconds
lazy.IBk	CorrectlyClassifiedInstances	Precision	Recall	F-Measure	Time takentobuild model:
TF_bigram.arff	72.2792%	0,693	0,723	0,705	0 seconds
TF_trigram.arff	75.1571%	0,679	0,752	0,69	0 seconds
TF_unigram.arff	68.7727%	0,667	0,688	0,676	0 seconds
TFIDF_bigram.arff	71.9153%	0,69	0,719	0,702	0 seconds
TFIDF_trigram.arff	75.1902%	0,68	0,752	0,69	0 seconds
TFIDF_unigram.arff	70.3936%	0,664	0,704	0,68	0 seconds
TP_bigram.arff	74.4955%	0,698	0,745	0,71	0 seconds
TP_trigram.arff	75.3556%	0,681	0,754	0,69	0 seconds
TP_unigram.arff	70.3936%	0,664	0,704	0,68	0 seconds
Random.forest	CorrectlyClassifiedInstances	Precision	Recall	F-Measure	Time takentobuild model:
TF_bigram.arff	76.3480%	0,734	0,763	0,742	130.81 seconds
TF_trigram.arff	75.9841%	0,704	0,76	0,707	231.94 seconds
TF_unigram.arff	81.4754%	0,806	0,815	0,782	50.23 seconds
TFIDF_bigram.arff	76.5134%	0,735	0,765	0,742	128.17 seconds
TFIDF_trigram.arff	75.7195%	0,7	0,757	0,704	227.46 seconds

Tablo 2'nin devamı

TFIDF_unigram.arff	81.5084%	0,807	0,815	0,782	47.77 seconds
TP_bigram.arff	76.3480%	0,735	0,763	0,742	127.26 seconds
TP_trigram.arff	74.8263%	0.69	0.748	0.701	57.24 seconds
TP_unigram.arff	78.6636%	0.766	0.787	0.77	16.25 seconds
functions.Logistic	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	67.7473%	0,687	0,677	0,682	394.77 seconds
TF_trigram.arff	71.7499%	0.682	0.717	0.696	46.31 seconds
TF_unigram.arff	66.7549%	0.696	0.668	0.68	16.11 seconds
TFIDF_bigram.arff	68.4750%	0.691	0.685	0.688	436.73 seconds
TFIDF_trigram.arff	71.6176%	0.681	0.716	0.695	45.63 seconds
TFIDF_unigram.arff	67.4826%	0.701	0.675	0.686	13.64 seconds
TP_bigram.arff	68.4419%	0.692	0.684	0.688	191.98 seconds
TP_trigram.arff	71.9153%	0.684	0.719	0.697	29.55 seconds
TP_unigram.arff	67.4826%	0.701	0.675	0.686	13.1 seconds
functions.LibLINEAR	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	76.9434%	0,739	0,769	0,745	0.07 seconds
TF_trigram.arff	76.1495%	0,705	0,761	0,704	0.02 seconds
TF_unigram.arff	77.7373%	0,766	0,777	0,771	0.04 seconds
TFIDF_bigram.arff	72.1138%	0,71	0,721	0,715	0.12 seconds
TFIDF_trigram.arff	74.1317%	0,687	0,741	0,7	0.09 seconds
TFIDF_unigram.arff	71.6838%	0,731	0,717	0,723	0.15 seconds
TP_bigram.arff	71.6838%	0,731	0,717	0,723	0.02 seconds
TP_trigram.arff	75.5210%	0,7	0,755	0,707	0.02 seconds
TP_unigram.arff	75.7526%	0,751	0,758	0,754	0.06 seconds

Metin madenciliği yöntemleri, verisetlerindeki önemli bilgileri izole etmeye ve zorlukları fırsatlara dönüştürmeye yardımcı olur. Bu çalışmanın temel amacı metin madenciliğini kullanarak, işyerinde çalışanlara gerekli olan iş tatmini gereksinimlerdeki değişen eğilimleri ve koşulları belirlemektir. Metin madenciliği, metin belgelerinden bilgi veya bilgi çıkarmak için kullanılan genellikle yapılandırılmamış bilgiler içeren bir tekniktir [7].

Yapılandırılmamış bilginin analiz edilmesi zordur çünkü doğrudan analiz edilebilir dijital bilgidir; ancak metin madenciliği yöntemleri bu sorunu çözebilir. Metin madenciliği teknikleri, özellikle yükseköğretim alanında olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın olarak benimsenmiştir; ayrıca bu teknik öğrencilerin öğrenme performansını değerlendirmek için birçok çalışmada kullanılmıştır [8]. Bu nedenle, bu çalışmada, insan kaynakları yönetiminde iş tatmin faktörlerini makine öğrenmesine dayalı analiz etmek için metin madenciliği yöntemi kullanılmıştır.

4. Sonuç

İnsan kaynaklarında yapay zeka, bilişsel bilim ve bilişsel davranış modellemesinin anlamasına yardımcı olmakta ve geçmiş, şimdiki ve gelecekteki olayların etkili bir analizini içermektedir. Geçmiş olayların incelenmesi "Raporlama", mevcut olayların incelenmesi "Analiz", gelecekteki olayların veya beklentilerin incelenmesi "Öngörülmesi" olarak bilinmektedir. Yapay zeka araçlarıyla üçünün de birlikte çalışılması, örgütün genel organizasyon hedeflerine ulaşması için

farklı insan kaynakları faaliyetlerinin etkin bir şekilde planlanmasına ve tahmin edilmesine yol açacaktır [9].

İnsan kaynakları yönetiminde makine öğrenmesinin kullanılması; iş için doğru adayları seçmekte ve yetenek kazanmalarına yardımcı olmakta, işyerinde çalışanların elde tutulma oranının tahmin edilmesine ve şirketteki idari personel üzerindeki yükü azaltmaya yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda, hata olasılığını minimum seviyeye indirmeye, çalışanların daha yüksek performans ile katılım sağlamasına ve karar vermede önyargı davranışını en aza indirmeye yardımcı olmaktadır [10]. Bu çalışmaların sonucunda iş tatmini faktörleri analiz edilerek çalışanların iş doyumunun artmasına olanak sağlanır.

Tablo 2.'de verilen deney sonuçlarına göre en düşük başarı oranı ise 66.7549% ile functions.Logistic algoritmasında Terim sıklığı (TermFrequency) ve 1-gram modelinde yani TF_unigram.arff konfigürasyonu kullanıldığında elde edilmiştir. Deney sonucu 16.11 saniyede alınmış olup elde edilen duyarlılık değeri 0,696; hassasiyet değeri 0,668 ve F-ölçütü değeri ise 0,68 dir. Yine Tablo 2.'de görülen bu analizler sonucunda en yüksek başarı oranı 83.0301% ile NaiveBayesMultinomial algoritmasında TF_unigram.arff konfigürasyonundan yani Terim sıklığı (TermFrequency) ve 1-gram modeli kullanılarak 0 saniye gibi çok kısa sürede analiz sonucu elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre duyarlılık değeri 0,82; hassasiyet değeri 0,83 ve F-ölçütü 0,821 olarak bulunmuştur.

Kaynakça

- [1] Kantar, Hüseyin (2014), İşletmede Motivasyon, Kum Saati Yayınları, İstanbul.
- [2] Bollen, Johan, Huina Mao, and Xiaojun Zeng. "Twitter mood predicts the stock market." *Journal of Computational Science* 2.1 (2011): 1-8.
- [3] Prabowo, Rudy, and Mike Thelwall. "Sentiment analysis: A combine dapproach." *Journal of Informetrics* (2009): 143-157.
- [4] Ozkaya, U., Melgani, F., Bejiga, M. B., Seyfi, L., Donelli, M., GPR B scan image analysis with deep learning methods. *Measurement*, 165, 107770.
- [5] Salton, Gerard, and Christopher Buckley. "Term-weighting approaches in automatic text retrieval." *Information processing and management* 24.5 (1988): 513-523.
- [6] Al-Talib, G. A. and Hassan, H. S., 2013, A study on analysis of SMS classification using TF-IDF Weighting, *International Journal of Computer Networks and Communications Security*,1(5), 189-194pp.
- [7] Ganesh, S. (2013), "Text mining in analyzing the presentation of educational trainers", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 66 No. 7, pp. 38-44.
- [8] Abdous, M. And He, W. (2011), "Using text mining to uncover students' technology-related problems in live video streaming", *British Journal of EducationalTechnology*, Vol. 42 No. 1, pp. 40-49.
- [9] Jain, S., (2018), "Human Resource Management and Artificial Intelligence", *International Journal of Management and Social Sciences Research (IJMSSR)*, Volume 7, No. 3, pp.56-59.
- [10] Yawalkar, V. V., (2019), "Study of Artificial Intelligence and its role in Human Resource Management", *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, pp.20-24).



İş Tatmini Faktörlerini Belirlemeye Ve Analiz Etmeye Yönelik Olarak Çalışanların Çevrimiçi Değerlendirmelerinin Sınıflandırıcı Topluluklarına Dayalı Analizi

Ali Özdemir¹, Aytuğ Onan², Vildan Çınarlı Ergene^{3*}

¹Matematik /Fen Edebiyat Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, (ORCID: 0000 -0001-9330-7084), acaozdemir@gmail.com

² Bilgisayar Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9434-5880), aytugonan@gmail.com

^{3*} Matematik / Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1220-3337), vildan.cinarli@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.1008691)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, A., Onan, A., & Çınarlı Ergene, V. (2021). İş Tatmini Faktörlerini Belirlemeye Ve Analiz Etmeye Yönelik Olarak Çalışanların Çevrimiçi Değerlendirmelerinin Sınıflandırıcı Topluluklarına Dayalı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 531-538.

Öz

Bu çalışma kapsamında iş tatmini faktörlerini belirlemeye ve analiz etmeye yönelik olarak çalışanların çevrimiçi değerlendirmelerinin sınıflandırıcı topluluklarına dayalı analizi yapılmıştır. Metin sınıflandırma işlemi, önceden tanımlanmış kategoriler veya sınıflar altında metin belgelerinin otomatik olarak sınıflandırılmasıdır. Bu kapsamda makine öğrenmesi teknikleri, dokümanlara anahtar kelimeler atamak ve bunları belirli kategorilerde sınıflandırmak için kullanılır. Makine öğrenmesi, belgeleri otomatik olarak kategorilere ayırmamızı sağlar.

Metin madenciliği, metinleri organize etmek amacıyla önceden tanımlanmış kategorilere dahil etme işlemidir. Son yıllarda dijital ortamdaki verinin artması, bu verilerden bilgi çıkarımını ve bilginin kullanılabilirliğinin artırılması üzerine olan çalışmaları hızlandırmıştır. Metinlerin verimli kullanılabilmesi ve aranan bilgiye hızlıca ulaşılabilmesi için metinlerin kategorize edilmesi önem kazanmıştır. Büyük belge koleksiyonlarını elle düzenlemek son derece zaman alıcıdır ve hataya açıktır. Otomatik metin sınıflandırma uygulamaları bu noktada hızlı ve maliyeti düşük çözümler sunar. Metin sınıflandırma işleminin, istenmeyen mesaj veya elektronik postaları filtreleme, bilimsel makalelerin otomatik indekslenmesi, web sayfaların etiketlenmesi, belge türünün tanımlanması gibi uygulama alanları mevcuttur.

Çalışanların çevrimiçi değerlendirmelerinin sınıflandırıcı topluluklarına dayalı analizi yapılması amacıyla çalışan kişilerin çalışmış oldukları firmalar hakkındaki düşünceleri tr.indeed.com'da yayınlanan toplam 18 farklı firmadan elde edilen 3023 adet çevrimiçi değerlendirme elde edilmiştir. Her bir veri seti için, öznitelik temsili yöntemlerinden terim sıklığı (TF), terim varlığı (TP) ve TF-IDF ölçütleri için 1-gram, 2-gram ve 3-gram temsilleri ile toplam dokuz farklı veri temsili elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda beş temel sınıflandırma algoritması topluluk öğrenme yöntemleri ile birleştirilerek doğru sınıflandırma performansları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sınıflandırıcı topluluğu, Metin madenciliği, Makine öğrenmesi

Analysis of Employees' Online Assessments Based on Classifier Ensembles to Identify and Analyze Job Satisfaction Factors

Abstract

Within the scope of this study, an analysis of the online evaluations of employees based on classifier communities was made in order to identify and analyze job satisfaction factors. Text classification is the automatic classification of text documents under predefined categories or classes. In this context, machine learning techniques are used to assign keywords to documents and classify them into specific categories. Machine learning allows us to automatically categorize documents.

Text mining is the process of including texts into predefined categories for the purpose of organizing them. The increase in data in the digital environment in recent years has accelerated the studies on extracting information from these data and increasing the usability of information. It has become important to categorize the texts in order to use the texts efficiently and to reach the sought information quickly. Manually editing large document collections is extremely time-consuming and error-prone. Automatic text classification applications offer fast and cost-effective solutions at this point. Text classification has application areas such as filtering spam e-mails, automatic indexing of scientific articles, tagging web pages, and defining document type.

* Sorumlu Yazar: vildan.cinarli@gmail.com

In order to analyze the online evaluations of the employees based on their classifier communities, 3023 online evaluations obtained from a total of 18 different companies, which were published on tr.indeed.com, were obtained. For each data set, a total of nine different data representations were obtained with 1-gram, 2-gram and 3-gram representations for term frequency (TF), term presence (TP) and TF-IDF criteria from the feature representation methods. In the experimental studies, the correct classification performances were examined by combining five basic classification algorithms with ensemble learning methods.

Keywords: Classifier ensemble, Text mining, Machine learning

1. Giriş

İşletmelerin hedeflerine ulaşması ve kar elde etmesi öncelikle çalışanlar sayesinde olur. Yani işini seven, işini iyi yapan, yaptığı işten gurur duyan, işletmenin hedeflerini benimsemiş ve amaçlarını işletme amaçlarıyla bütünleştirmiş çalışanlara sahip işletmeler başarılı olacaklardır. Bu da çalışanların işinden duydukları tatmin derecesiyle ilişkilidir. İş tatmini yöneticiler için çalışanların işlerine karşı tutumlarının performans ve verimlilik üzerindeki etkisi açısından önemlidir. Çünkü iş tatminsizliğinin doğrudan neden olduğu davranışlar; işten ayrılma, devamsızlık, performans düşüklüğü, ruhsal ve fiziksel sağlıkta bozulma şeklinde görülmektedir [1].

Günümüzde modern yönetim anlayışı çalışanın iş tatmini üzerinde önemle durmaktadır. Tüm kurumlarda kurum başarısı çalışanın iş doyumu ile doğru orantılıdır. Kurumların kullandıkları kaynaklar içinde en karmaşık ve değişken olanı insan gücüdür. Örgütsel davranış alanında iş tatmini, en çok önem verilen ve sıklıkla araştırılan bir davranış olarak görülmektedir [2].

Yapay zekâ çözümleri her sektörde artarak devam etmektedir. Metin madenciliği son yıllarda hızla gelişen bir alan haline geldi ve bu alandaki uygulamalar yapay zekâ alanındaki uygulamaların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Diğer fonksiyonel departmanlar gibi, insan kaynakları departmanlarının işletme yöneticileri çeşitli konularda kararlar almalıdır. Metinsel veriler de dahil olmak üzere daha fazla veri oluşturulup biriktikçe şirketleri ile ilgili karar verirken metin madenciliği kullanılarak bu tür verilerden uygulanabilir bilgi elde edilir [3].

İnsan kaynakları yönetiminde yapay zekâ teknolojilerinin kullanılması; iş için doğru adayları seçmekte ve yetenek kazanmalarına yardımcı olmakta, işyerinde çalışanların elde tutulma oranının tahmin edilmesine ve şirketteki idari personel üzerindeki yükü azaltmaya yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda, hata olasılığını minimum seviyeye indirmeye, çalışanların daha yüksek performans ile katılım sağlamasına ve karar vermede önyargı davranışını en aza indirmeye yardımcı olmaktadır [4].

2. Materyal ve Metot

Sınıflandırma işlemi daha önce görülmemiş ve kategorisi bilinmeyen her bir örneğin, eğitim verisi kategorilerinden en uygun olan kategoriye atanması işlemidir [5]. Makine öğrenmesi açısından düşünüldüğünde ise, yapılan son araştırmalar, metin madenciliği gibi yöntemler üzerine olmuştur. Makine öğrenmesine ihtiyaç duyulmasının nedeni, elle kategorizasyonun pahalı ve zaman tüketen bir iş oluşudur ki, ayrıca elle sınıflandırmada, sınıflandırmayı yapan uzmanların vermiş oldukları kararlara bağlı olarak sonuçlar da değişmektedir [6].

Çalışanların şirketleri hakkında yaptıkları yorumlardan 1 ve 2 puan olanlar negatif, 3,4 ve 5 puanlar pozitif olarak değerlendirilmiş olup toplamda 18 farklı firmadaki 2321 pozitif yorum ve 702 negatif yorum tr.indeed.com'dan elde edilmiştir.

Elde edilen 3023 adet çevrimiçi değerlendirme ele alınarak sınıflandırıcı topluluklarına dayalı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle sistemde kullanılacak olan verilerin WEKA programında hataları düzeltilerek ön işlemden geçirilmiştir. Ön işlemden geçirilen çevrimiçi değerlendirmeler, öznelik temsili yöntemlerinden terim sıklığı (Term Frequency-TF), terim varlığı (Term Present-TP) ve TF-IDF ölçütleri için N-gram temsil modellerinden olan 1-gram, 2-gram ve 3-gram temsilleri ile toplam dokuz farklı veri temsili elde edilmiştir. Daha sonra çıkarılan öznelikler ağırlıklandırılmıştır. Son olarak elde edilen veriler arff (Attribute Relational File Format) formatına dönüştürülerek sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çevrimiçi değerlendirme yapılan firmaların adı ve kaç adet pozitif ve negatif yorum yapıldığını belirten bilgiler Tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 1. Çevrimiçi değerlendirme yapılan firmalara ait yorum sayıları

Firma adı	Negatif (1-2 puan)	Pozitif (3-4-5 puan)	Toplam Firma Sayısı
VESTEL	16	85	101
BOSCH	3	37	40
ARÇELİK	23	151	174
SIEMENS	2	33	35
MC DONALDS	54	151	205
BURGER KING	49	170	219
DOMİNOS	21	13	89
KOTON	43	0	173
LC WAIKIKI	49	337	386
DE FACTO	32	189	221
STARBUCKS	8	86	94
KAHVE DÜNYASI	16	38	54
TURKCELL	24	0	158
TURK TELEKOM	33	0	212
VODAFONE	23	0	161
BİM A.Ş.	39	113	152
A101	260	248	508
MIGROS	7	34	41

Çalışmamızda 5 temel sınıflandırıcı olarak NaiveBayesMultinomial, lazy.IBk, Random.forest, functions.Logistic ve functions.LibLINEAR algoritmaları kullanmış olup kullanılan öğrenme yöntemleri aşağıdaki gibidir;

- Bu 5 temel algoritmanın tümü Meta Adaboost algoritması için ayrı ayrı denenerak 9 konfigürasyon için 5 farklı analiz yapıldı.
- Benzer şekilde 5 temel algoritmanın tümü Meta Bagging algoritması için ayrı ayrı denenerak 9 konfigürasyon için 5 farklı analiz yapıldı.
- 5 temel algoritmanın tümü Meta Random Subspace algoritması için ayrı ayrı denenerak 9 konfigürasyon için 5 farklı analiz yapıldı.
- Stacking (L1 regularized L2 loss support vector classification) algoritması 5 algoritma kullanılarak Logistic ile çalıştırılarak 1 analiz yapıldı.
- Meta Vote algoritması ise içerisindeki 5 tane farklı kombinasyon (Liblinear+L1 regularized logistic

regression) ile (meta.Vote AVG- meta.Vote PROD- meta.Vote MAJORITY- meta.Vote MIN- meta.Vote MAX) çalıştırıldı.

Buna göre toplamda $21 \cdot 9 = 189$ tane deney elde edilmiş oldu.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sınıflandırmaya ait deneysel sonuçlar Weka tabanlı Java uygulaması ile elde edilmiş olup beş temel sınıflandırma algoritması topluluk öğrenme yöntemleri ile birleştirilmiştir. Bu deneylerin sonuçlarına ait veriler tablolar ile gösterilmiştir (Tablo 2-6).

Tablo2. Temel algoritmaların AdaBoost sınıflandırıcı topluluğuna dayalı analizleri

Algoritma	Veri seti için elde edilen sonuçlar				
	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
meta.AdaBoostM1-bayes.NaiveBayesMultinomial					
TF_bigram.arff	75.1902%	0,734	0,752	0,741	0.05 seconds
TF_trigram.arff	74.8594%	0,707	0,749	0,717	0.03 seconds
TF_unigram.arff	75.2564%	0,761	0,753	0,756	0.05 seconds
TFIDF_bigram.arff	71.8822%	0,732	0,719	0,725	0.03 seconds
TFIDF_trigram.arff	71.8492%	0,693	0,718	0,704	0.03 seconds
TFIDF_unigram.arff	74.0655%	0,753	0,741	0,746	0.04 seconds
TP_bigram.arff	72.8746%	0,732	0,729	0,73	0.04 seconds
TP_trigram.arff	74.6279%	0,707	0,746	0,718	0.04 seconds
TP_unigram.arff	74.5617%	0,754	0,746	0,749	0.04 seconds
meta.AdaBoostM1-functions.LibLINEAR					
TF_bigram.arff	74.3632%	0,726	0,744	0,733	0.21 seconds
TF_trigram.arff	75.3887%	0,701	0,754	0,708	0.14 seconds
TF_unigram.arff	73.5693%	0,741	0,736	0,738	1.55 seconds
TFIDF_bigram.arff	73.4370%	0,72	0,734	0,726	1.5 seconds
TFIDF_trigram.arff	74.5617%	0,691	0,746	0,703	1.29 seconds
TFIDF_unigram.arff	73.4039%	0,741	0,734	0,738	2.33 seconds
TP_bigram.arff	73.6024%	0,722	0,736	0,728	0.31 seconds
TP_trigram.arff	74.9917%	0,698	0,75	0,708	0.18 seconds
TP_unigram.arff	73.4039%	0,741	0,734	0,737	2.25 seconds
meta.AdaBoostM1-functions.Logistic					
TF_bigram.arff	70.7906%	0,705	0,708	0,706	1939.32 seconds
TF_trigram.arff	71.5184%	0,681	0,715	0,695	267.4 seconds
TF_unigram.arff	67.4165%	0,705	0,674	0,687	4692.38 seconds
TFIDF_bigram.arff	70.9229%	0,706	0,709	0,708	1365.47 seconds
TFIDF_trigram.arff	71.5845%	0,682	0,716	0,695	178.94 seconds
TFIDF_unigram.arff	67.4496%	0,708	0,674	0,688	2137.57 seconds
TP_bigram.arff	70.7575%	0,704	0,708	0,706	1223.26 seconds
TP_trigram.arff	71.3860%	0,68	0,714	0,693	194.26 seconds

TP_unigram.arff	67.1849%	0,706	0,672	0,686	2318.24 seconds
meta.AdaBoostM1-trees.RandomForest	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	75.5872%	0,727	0,756	0,735	628.27 seconds
TF_trigram.arff	75.9510%	0,706	0,76	0,709	953.79 seconds
TF_unigram.arff	81.2107%	0,798	0,812	0,812	120.28 seconds
TFIDF_bigram.arff	75.8518%	0,729	0,759	0,737	461.39 seconds
TFIDF_trigram.arff	76.0172%	0,707	0,76	0,709	941.56 seconds
TFIDF_unigram.arff	80.6153%	0,79	0,806	0,774	117.38 seconds
TP_bigram.arff	76.4472%	0,736	0,764	0,743	453.26 seconds
TP_trigram.arff	75.9180%	0,705	0,759	0,708	926.5 seconds
TP_unigram.arff	80.2845%	0,785	0,803	0,77	161.31 seconds
meta.AdaBoostM1-lazy ibk	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	72.5438%	0,69	0,725	0,703	12.22 seconds
TF_trigram.arff	75.4879%	0,682	0,755	0,689	9.6 seconds
TF_unigram.arff	69.5336%	0,669	0,695	0,68	27 seconds
TFIDF_bigram.arff	72.2461%	0,687	0,722	0,7	10.28 seconds
TFIDF_trigram.arff	75.5210%	0,683	0,755	0,69	9.26 seconds
TFIDF_unigram.arff	70.7244%	0,666	0,707	0,682	29.05 seconds
TP_bigram.arff	74.9587%	0,701	0,75	0,711	10.44 seconds
TP_trigram.arff	75.7195%	0,686	0,757	0,69	9.21 seconds
TP_unigram.arff	70.7244%	0,666	0,707	0,682	26.76 seconds

Tablo3. Stacking sınıflandırıcı topluluğuna dayalı analizler

Algoritma	Veri seti için elde edilen sonuçlar				
meta.Stacking	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	80.2845%	0,786	0,803	0,768	1334.02 seconds
TF_trigram.arff	78.2666%	0,77	0,783	0,714	2308.68 seconds
TF_unigram.arff	83.6586%	0,826	0,837	0,823	541.96 seconds
TFIDF_bigram.arff	79.3913%	0,77	0,794	0,768	1343.01 seconds
TFIDF_trigram.arff	77.0427%	0,724	0,77	0,693	2352.92 seconds
TFIDF_unigram.arff	82.5339%	0,814	0,825	0,816	525.22 seconds
TP_bigram.arff	80.4499%	0,786	0,804	0,776	1329.51 seconds
TP_trigram.arff	78.2005%	0,758	0,782	0,72	2327.57 seconds
TP_unigram.arff	83.3278%	0,822	0,833	0,821	523.04 seconds

Tablo4. Temel algoritmaların Bagging sınıflandırıcı topluluğuna dayalı analizleri

Algoritma	Veri seti için elde edilen sonuçlar				
meta.Bagging-bayes.NaiveBayesMultinomial	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	80.5491%	0,788	0,805	0,774	0.1 seconds
TF_trigram.arff	78.2997%	0,778	0,783	0,711	0.02 seconds
TF_unigram.arff	83.2947%	0,822	0,833	0,823	0.02 seconds
TFIDF_bigram.arff	76.4803%	0,76	0,765	0,762	0.02 seconds
TFIDF_trigram.arff	72.1469%	0,697	0,721	0,707	0.01 seconds
TFIDF_unigram.arff	80.6153%	0,806	0,806	0,806	0.03 seconds
TP_bigram.arff	80.0198%	0,781	0,8	0,783	0.01 seconds

Tablo 4'ün devamı

TP_trigram.arff	76.9765%	0,727	0,77	0,724	0.02 seconds
TP_unigram.arff	82.4677%	0,816	0,825	0,819	0.02 seconds
meta.Bagging- functions.LibLINEAR	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	76.5465%	0,735	0,765	0,741	0.3 seconds
TF_trigram.arff	76.1164%	0,701	0,761	0,701	0.14 seconds
TF_unigram.arff	78.7297%	0,776	0,787	0,781	0.65 seconds
TFIDF_bigram.arff	73.0069%	0,719	0,73	0,724	1.35 seconds
TFIDF_trigram.arff	74.6279%	0,686	0,746	0,698	1.23 seconds
TFIDF_unigram.arff	74.1317%	0,751	0,741	0,746	1.56 seconds
TP_bigram.arff	75.2564%	0,726	0,753	0,735	0.22 seconds
TP_trigram.arff	75.5541%	0,697	0,756	0,703	0.17 seconds
TP_unigram.arff	77.2742%	0,768	0,773	0,77	0.82 seconds
meta.Bagging- functions.Logistic	Correctly Classified Instance	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	70.3275%	0,711	0,703	0,707	472.89 seconds
TF_trigram.arff	74.0324%	0,692	0,74	0,705	248.9 seconds
TF_unigram.arff	67.5157%	0,705	0,675	0,688	208.56 seconds
TFIDF_bigram.arff	70.3936%	0,711	0,704	0,707	475.89 seconds
TFIDF_trigram.arff	74.1317%	0,693	0,741	0,706	246.83 seconds
TFIDF_unigram.arff	67.0857%	0,699	0,671	0,683	208.5 seconds
TP_bigram.arff	70.0298%	0,711	0,7	0,705	452.7 seconds
TP_trigram.arff	73.9332%	0,692	0,739	0,705	238.57 seconds
TP_unigram.arff	66.9864%	0,698	0,67	0,682	204.44 seconds
meta.Bagging -lazy.IBk	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	73.2716%	0,687	0,733	0,701	0.05 seconds
TF_trigram.arff	75.7195%	0,686	0,757	0,69	0.01 seconds
TF_unigram.arff	70.6583%	0,668	0,707	0,683	0.04 seconds
TFIDF_bigram.arff	72.8746%	0,683	0,729	0,698	0.03 seconds
TFIDF_trigram.arff	75.7526%	0,687	0,758	0,691	0.02 seconds
TFIDF_unigram.arff	71.5845%	0,662	0,716	0,681	0.03 seconds
TP_bigram.arff	75.2564%	0,697	0,753	0,705	0.04 seconds
TP_trigram.arff	75.7856%	0,686	0,758	0,69	0.02 seconds
TP_unigram.arff	71.5845%	0,662	0,716	0,681	0.03 seconds
meta.Bagging- trees.RandomForest	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	77.3073%	0,741	0,773	0,744	883.3 seconds
TF_trigram.arff	76.7450%	0,715	0,767	0,704	1085.66 second
TF_unigram.arff	81.4092%	0,811	0,814	0,777	353.69 seconds
TFIDF_bigram.arff	77.2081%	0,739	0,772	0,743	914 seconds
TFIDF_trigram.arff	76.6126%	0,711	0,766	0,702	1577.89 seconds
TFIDF_unigram.arff	81.5746%	0,816	0,816	0,777	334.85 seconds
TP_bigram.arff	77.4727%	0,743	0,775	0,746	899.55 seconds
TP_trigram.arff	76.7119%	0,714	0,767	0,703	1575.37 seconds
TP_unigram.arff	81.5084%	0,818	0,815	0,775	339.37 seconds

Tablo5. Temel algoritmaların RandomSubSpace sınıflandırıcı topluluğuna dayalı analizi

Algoritma	Veri seti için elde edilen sonuçlar				
meta.RandomSubSpace-functions.Logistic	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	77.7373%	0,747	0,777	0,749	425.04 seconds
TF_trigram.arff	75.5872%	0,702	0,756	0,708	60.93 seconds
TF_unigram.arff	80.5491%	0,787	0,805	0,787	153.86 seconds
TFIDF_bigram.arff	77.5719%	0,744	0,776	0,746	426.64 seconds
TFIDF_trigram.arff	75.1571%	0,695	0,752	0,704	62.15 seconds
TFIDF_unigram.arff	80.8138%	0,791	0,808	0,79	130.94 seconds
TP_bigram.arff	77.6712%	0,747	0,777	0,75	399.04 seconds
TP_trigram.arff	75.4548%	0,699	0,755	0,706	54.91 seconds
TP_unigram.arff	80.0860%	0,782	0,801	0,784	138.53 seconds
meta.RandomSubSpace-functions.LibLINEAR	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	78.8621%	0,762	0,789	0,751	0.36 seconds
TF_trigram.arff	76.2818%	0,7	0,763	0,695	0.3 seconds
TF_unigram.arff	81.4423%	0,799	0,814	0,794	0.78 seconds
TFIDF_bigram.arff	77.4727%	0,744	0,775	0,747	1.47 seconds
TFIDF_trigram.arff	76.1826%	0,706	0,762	0,705	1.11 seconds
TFIDF_unigram.arff	80.4499%	0,788	0,804	0,791	2.1 seconds
TP_bigram.arff	78.2997%	0,753	0,783	0,75	0.44 seconds
TP_trigram.arff	76.2818%	0,707	0,763	0,704	0.35 seconds
TP_unigram.arff	81.1446%	0,795	0,811	0,795	0.94 seconds
meta.RandomSubSpace-RandomForest	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	78.6636%	0,758	0,787	0,749	531.26 seconds
TF_trigram.arff	76.9765%	0,72	0,77	0,697	1388 seconds
TF_unigram.arff	81.5415%	0,817	0,815	0,776	249.26 seconds
TFIDF_bigram.arff	78.6636%	0,758	0,787	0,746	544.84 seconds
TFIDF_trigram.arff	77.2412%	0,73	0,772	0,701	1400.58 seconds
TFIDF_unigram.arff	81.6077%	0,821	0,816	0,776	231.78 seconds
TP_bigram.arff	78.5643%	0,757	0,786	0,748	591.22 seconds
TP_trigram.arff	76.9765%	0,72	0,77	0,698	756.34 seconds
TP_unigram.arff	81.8062%	0,825	0,818	0,778	379.82 seconds
meta.RandomSubSpace-NaiveBayesMultinomial	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	79.4244%	0,785	0,794	0,741	0.27 seconds
TF_trigram.arff	77.4065%	0,798	0,774	0,683	0.69 seconds
TF_unigram.arff	82.8316%	0,819	0,828	0,807	0.66 seconds
TFIDF_bigram.arff	78.3989%	0,77	0,784	0,775	0.41 seconds
TFIDF_trigram.arff	74.4955%	0,706	0,745	0,717	0.32 seconds
TFIDF_unigram.arff	81.0453%	0,804	0,81	0,807	0.6 seconds
TP_bigram.arff	80.2514%	0,787	0,803	0,766	0.41 seconds
TP_trigram.arff	77.9027%	0,773	0,779	0,701	0.32 seconds
TP_unigram.arff	82.7985%	0,816	0,828	0,814	0.59 seconds
meta.RandomSubSpace-LazyIBK	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	76.7450%	0,72	0,767	0,716	0.27 seconds

Tablo 5'in devamı

TF_trigram.arff	76.9434%	0,72	0,769	0,7	0.33 seconds
TF_unigram.arff	77.2742%	0,73	0,773	0,712	0.58 seconds
TFIDF_bigram.arff	76.9765%	0,725	0,77	0,718	0.42 seconds
TFIDF_trigram.arff	76.8773%	0,717	0,769	0,699	0.35 seconds
TFIDF_unigram.arff	77.4727%	0,763	0,775	0,69	0.59 seconds
TP_bigram.arff	77.3404%	0,732	0,773	0,714	0.38 seconds
TP_trigram.arff	76.7780%	0,714	0,768	0,699	0.34 seconds
TP_unigram.arff	77.5389%	0,764	0,775	0,692	0.59 seconds

Tablo6. Vote sınıflandırıcı topluluğuna dayalı analizler

Algoritma	Veri seti için elde edilen sonuçlar				
meta.Vote AVG	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	78.7297%	0,759	0,787	0,749	105.46 seconds
TF_trigram.arff	76.8111%	0,716	0,768	0,7	86 seconds
TF_unigram.arff	81.7400%	0,803	0,817	0,797	43.74 seconds
TFIDF_bigram.arff	76.6457%	0,743	0,766	0,75	47.93 seconds
TFIDF_trigram.arff	74.9587%	0,696	0,75	0,706	188.09 seconds
TFIDF_unigram.arff	79.5237%	0,78	0,795	0,784	17.09 seconds
TP_bigram.arff	78.8621%	0,761	0,789	0,754	93.01 seconds
TP_trigram.arff	76.5134%	0,71	0,765	0,704	102 seconds
TP_unigram.arff	81.6408%	0,801	0,816	0,798	38.57 seconds
meta.Vote PROD	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	73.2054%	0,789	0,806	0,755	45.31 seconds
TF_trigram.arff	73.6024	0,762	0,782	0,69	74.18 second
TF_unigram.arff	74.4625%	0,823	0,836	0,817	57.11 seconds
TFIDF_bigram.arff	69.2689%	0,742	0,77	0,75	44.56 seconds
TFIDF_trigram.arff	72.6100%	0,689	0,752	0,701	296.1 seconds
TFIDF_unigram.arff	67.7804%	0,772	0,785	0,777	17.5 seconds
TP_bigram.arff	71.3199%	0,777	0,802	0,759	128.82 seconds
TP_trigram.arff	72.5438%	0,763	0,784	0,695	75.2 seconds
TP_unigram.arff	72.6761%	0,763	0,784	0,695	40.42 seconds
meta.Vote MAJORITY	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	79.1598%	0,767	0,792	0,756	72.41 seconds
TF_trigram.arff	77.0096%	0,722	0,77	0,704	79.05 seconds
TF_unigram.arff	82.4347%	0,813	0,824	0,802	44.61 seconds
TFIDF_bigram.arff	76.9434%	0,744	0,769	0,75	75.48 seconds
TFIDF_trigram.arff	74.9587%	0,689	0,75	0,699	124.51 seconds
TFIDF_unigram.arff	80.5491%	0,788	0,805	0,788	27.98 seconds
TP_bigram.arff	78.7297%	0,76	0,787	0,755	74.97 seconds
TP_trigram.arff	76.4142%	0,711	0,764	0,708	132.91 seconds
TP_unigram.arff	82.0046%	0,807	0,82	0,798	29.42 seconds
meta.Vote MIN	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:

Tablo 6'nın devamı

TF_bigram.arff	73.2385%	0,789	0,806	0,755	135.3 seconds
TF_trigram.arff	73.6355%	0,763	0,782	0,69	230.42 seconds
TF_unigram.arff	74.4625%	0,823	0,836	0,817	52.34 seconds
TFIDF_bigram.arff	69.3351%	0,742	0,77	0,749	129.83 seconds
TFIDF_trigram.arff	72.6100%	0,689	0,752	0,701	227.61 seconds
TFIDF_unigram.arff	67.8465%	0,772	0,784	0,777	49.94 seconds
TP_bigram.arff	71.3199%	0,777	0,802	0,759	71.51 seconds
TP_trigram.arff	72.5438%	0,763	0,784	0,695	129.84 seconds
TP_unigram.arff	72.6761%	0,809	0,824	0,807	29.3 seconds
meta.Vote MAX	Correctly Classified Instances	Precision	Recall	F-Measure	Time taken to build model:
TF_bigram.arff	76.8111	0,739	0,768	0,745	75.87 second
TF_trigram.arff	76.1495%	0,705	0,761	0,705	180.19 seconds
TF_unigram.arff	78.3328%	0,778	0,783	0,781	30.1 seconds
TFIDF_bigram.arff	72.3123%	0,721	0,723	0,722	105.75 seconds
TFIDF_trigram.arff	73.8339%	0,686	0,738	0,7	161.77 seconds
TFIDF_unigram.arff	72.5438%	0,753	0,725	0,736	32.15 seconds
TP_bigram.arff	75.1571%	0,73	0,752	0,737	103.44 seconds
TP_trigram.arff	75.5210%	0,7	0,755	0,707	124 seconds
TP_unigram.arff	76.3811%	0,766	0,764	0,765	29.55 seconds

Makine öğrenmesi teknikleri ile hızlı ve güvenilir şekilde tahminlemeler yapılabilmektedir. Makine öğrenmesine ait birçok algoritma mevcut olup, problemin kaynağına ve veri sayısına göre hangi algoritmanın kullanılacağına karar verilmektedir. Farklı algoritmalar kullandığımız verisetine göre özgüllük, duyarlılık ve F-ölçütü değerleri üretmektedir. Kullandığımız verisetine göre bu değerler göz önünde bulundurularak farklı algoritmalar arasından en iyi uyum sağlayan algoritma tercih edilerek sonuç iyileştirilir ve zaman maliyeti azaltılır.

4. Sonuç

İş tatmini faktörlerini belirlemeye ve analiz etmeye yönelik olarak çalışanların çevrimiçi değerlendirmelerinin makine öğrenmesine dayalı analizini elde etmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar hakkında bilgi vermektedir. Çalışanların şirketleri hakkında yaptıkları yorumlardan 1 ve 2 puan olanlar negatif, 3,4 ve 5 puanlar pozitif olarak değerlendirilmiş olup toplamda 18 firmadaki 2321 pozitif yorum ve 702 negatif yorum ele alınarak analizleri gerçekleştirilmiştir.

Metin belgesindeki özniteliklerin belirlenmesinde terim varlığı, terim sıklığı gibi temel temsil yöntemleri ve 1-gram, 2-gram, 3-gram modelleri dikkate alınarak incelenen veri seti için farklı temsil yöntemlerinin doğru sınıflandırma başarımları, F-ölçütü, duyarlılık, hassasiyet ölçütleri 5 temel sınıflandırıcı aracılığıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan bu analizler sonucunda en yüksek başarı oranı Tablo 3'de görüleceği üzere 83.6586% başarı oranı ile meta.Stacking algoritmasında TF_unigram.arff komfigürasyonu ile elde edilmiş olup deney sonucunun alınması 541.96 saniye sürmüştür. Bu deneyden elde edilen duyarlılık değeri 0,826; hassasiyet değeri 0,837 ve F-ölçütü değeri, 0,823 olup Terim sıklığı (Term

Frequency) konfigürasyonu ve 1-gram modeli ile en yüksek başarıyı vermiştir. Analizler sonucunda en düşük başarı oranı ise Tablo 4'te görülen 66.9864% başarı oranı ile meta.Bagging - functions.Logistic algoritmasından elde edilerek deneyin yapılması 204.44 saniye sürmüştür. Analiz sonucu elde edilen bu en düşük başarı oranı TP_unigram.arff konfigürasyonu ile yani terim varlığı (Term Present) ve 1-gram modeli kullanılarak elde edilmiş olup sırasıyla duyarlılık;hassasiyet ve F-ölçütü değerleri 0,698; 0,67 ve 0,682 olarak bulunmuştur.

Kaynakça

- [1] Akşit Aşık, Nuran (2010), “Çalışanların İş Doyumunu Etkileyen Bireysel Ve Örgütsel Faktörler İle Sonuçlarına İlişkin Kavramsal Değerlendirme”, Türk İdare Dergisi, 467(Haziran), 31-51.
- [2] Luthans, F., Baack, D. ve Taylor, L. (1992). *Organizational Commitment: Analysis of Antecedents*, Human Relations.
- [3] S. Strohmeier, F. Piazza, Domain driven data mining in human resource management: a review of current research, *Expert Systems with Applications* 40 (7) (2013) 2410–2420.
- [4] Yawalkar, V. V., (2019), “Study of Artificial Intelligence and its role in Human Resource Management”, *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, pp.20-24).
- [5] Sebastiani, Fabrizio. "Machine learning in automated text categorization." *ACM computing surveys (CSUR)* 34.1 (2002): 1-47.
- [6] U. Özkaya, L. Seyfi. (2021), “Yere Nüfuz Eden Radar B Tarama Görüntülerinin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı İle Değerlendirilmesi” *Geomatik*, 6(2), 84-92.



Setting Reward Function of Sensor Based DDQN Model

Mehmet Gökçay Kabataş^{1*}, Sevinç İlhan Omurca²

^{1*} Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9628-4890), gkcy.kbts@gmail.com

² Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Kocaeli, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1214-9235), silhan@kocaeli.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008702)

ATIF/REFERENCE: Kabataş, M. G., Omurca S. İ., (2021). Setting Reward Function of Sensor Based DDQN Model. *European Journal of Science and Technology*, (28), 539-544.

Abstract

In this study, it is aimed to determine the appropriate reward function of the agent which trained to pass 100 obstacles/objects in Reinforcement Learning (RL) with Double Deep Q Network (DDQN) model. To train the agent, environment is split into sub problems. Several rules and different reward functions defined for the sub problems. A developed mini deep learning library which is called gNet is used for the training.

Keywords: artificial intelligence, deep learning, DDQN, gNet, reward function, sensor based.

Sensör Tabanlı DDQN Modeline Ödül Fonksiyonu Belirleme

Öz

Bu çalışmada DDQN Modeli ile Pekiştirmeli Öğrenme içerisinde 100 engeli/nesneyi geçmek üzere eğitilen ajanın uygun ödül fonksiyonunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ajanı eğitmek için çevre alt problemlere bölümlüştür. Alt problemler için çeşitli kurallar ve farklı ödül fonksiyonları tanımlanmıştır. Eğitim için gNet adında geliştirilmiş mini derin öğrenme kütüphanesi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: yapay zeka, derin öğrenme, DDQN, gNet, ödül fonksiyonu, sensör tabanlı

* Corresponding Author: gkcy.kbts@gmail.com

1. Introduction

Today, Artificial intelligence (AI) makes it possible for computer to learn from past experience, adjust to new inputs and perform several human-like tasks. The Reinforcement learning [1] is one of the most popular artificial intelligence research areas applied for this purpose. It aims to learn potential good policies for sequential agent behaviours by optimizing a cumulative future reward value.

Setting the reward function effects what the agent will learn. Therefore, knowing of conditions of environment and determining the appropriate reward function have a serious impact on success.

Ratner [2] shows how to set reward function in robot arm which has 7-DOF motion ability to have done required/intended motion and effects of set reward functions in their study. The most important result of Ratner's study is dividing the problem into sub-problems with sub-reward functions. This sub-rewarding approach has contribution to the success of agent.

Hu [3] show effects of arranging reward function. By increasing positive rewards (or only rewards) and decreasing negative rewards (or penalty) makes agent converge more quickly.

In the study, the dividing approach proposed in [2] is used for the rules of the environment and different reward functions are set according to the approach proposed in [3]. Thereby, it is examined how to determine the reward function which is an important factor for Reinforcement Learning.

2. Environment

The environment created in Python with pygame library from scratch. It is 2D game which main purpose is passing over obstacles/objects. In our environment, the agent drives a car which has a constant speed in 5 different actions which are increasing speed, decreasing speed, move left, move right and do nothing.

In Fig. 1, the screen of the game is shown. The moving agent interacts with the environment as it is seen in the screen. The created objects have random sizes and locations in the screen. This randomness brings a stochastic property to the environment.

There is no moving entity which has an ability to move. The explanations below the screen are as follows:

- "Passed Object" represents the passed objects from beginning of the episode,
- "Reward" represents the result of reward function at the moment,
- "Epsilon" represents the willing of selecting random action of model,
- "Score" represents the summation of rewards from beginning of the episode,
- "Sensors" represents the instantaneous sensor values,
- "Action" represents the selected action,
- "Action Type" shows whether the selected action is random or prediction of the model.

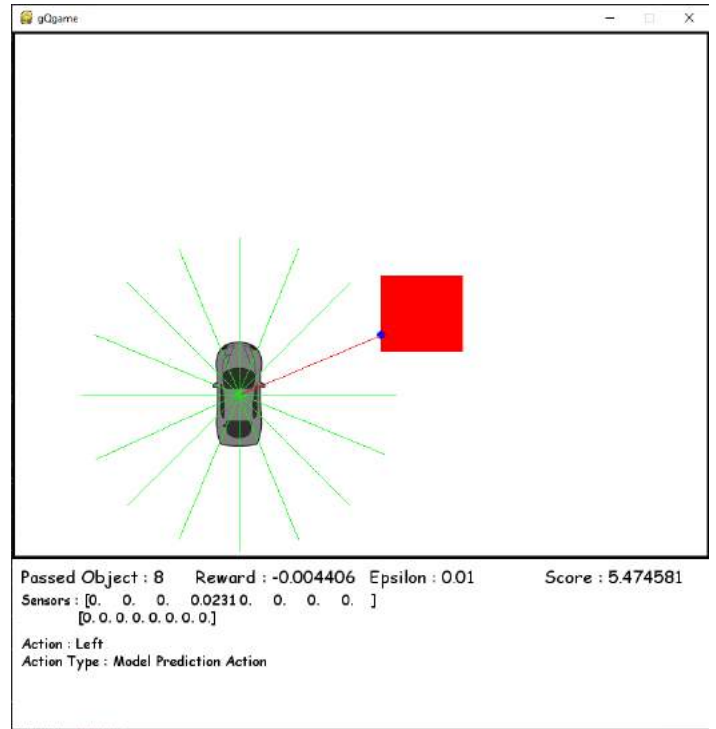


Fig. 1 Screenshot of Environment.

An environment is created to implement RL problems with Double Deep Q Network (DDQN) to decide which action does the agent next. Aim of the study is setting the reward function that can pass over 100 objects with the applied DDQN model. To achieve this, agent should obey some rules. If the agent hit the border of the screen or an object, then agent get penalty and start next episode. If any of the sensors of the agent is turn into active, then agent get penalty depends on how many sensors are turned into active. Purpose of this rule are selecting the action which has minimum risk; because if there is an active sensor, it means that there is a probability of hitting and the agent get penalty. Agent gets reward when it stays alive. Agent gets reward when pass over an object. Yet, there is a constraint to accept passing over object. The constraint is that, object should be perceived by one of the sensors. If constraint has not occurred, then the agent gets meaningless reward. To handle this possibility, that constraint is considered. If agent pass over 100 objects, agent gets the big reward and start next episode. Agent should have minimum speed to move on.

Because of the agent perceiving the environment by its sensors, the environment become partial observable. Also, the actions of the agent are in discrete form.

The agent moves in pixelwise motion thus it doesn't have a dynamic motion model in the environment. If the agent select to move left, instead of turning front of the car, car moves along x axis of screen in rigid form. This situation effects reward function and inputs of the environment. The inputs will be explained in next chapters.

3. Methodology

Main purpose of the RL is reaching maximum reward. To get maximum reward, agent should select appropriate actions and observes the action results.

3.1. Reward Function

Reward functions generally based on Markov Decision Process (MDP) rules. MDP, processes around Markovian property. The meaning of Markovian property explained as 'next state is depends on current state, not the previous states' in verbally. In mathematical form of explanation shown as $P[S_{t+1}|S_t] = P[S_{t+1}|S_t, \dots, S_1]$. P is probability of changing of state in time t to time t+1.

Founded reward function with this structure of the MDP, convert the $P[S_{t+1}|S_t, a_t]$ probability in form of $R_t = E[R_{t+1}|S_t, a_t]$ reward function. It means calculation of reward which is taken in next state depends on the current state and selected action.

The main purpose is reaching maximum reward. Therefore, collection of reward in the future (G_t) should be also in maximum. Total reward in the future can be calculated as $G_t = R_{t+1} + \gamma R_{t+2} + \dots = \sum \gamma_{t+k+1}^{kR}$ where discount factor γ in $(0 < \gamma < 1)$. The idea of the discount factor is there is no guarantee that next reward will be more important than the current one.

Watkins [4] presents Q-Learning (QL) for appropriate action selection by agent. QL means 'Quality Learning'. Agent observe the state $x_n \in X$ in its environment and select action $a_n \in A$. After that, the agent get reward from the environment's reward function $R(x_n, a_n)$.

The environment state change possibility according to $\text{Prob}[y_n = y|x_n, a_n] = P_{x_n y}[a_n]$ rule. Because of the change, agent need to determine optimal policy (π^*) to take maximum reward. This policy where agent get rewards even reward discounted by γ factor in time to get maximum reward.

Value of the state x in policy π is calculated by $V^\pi(x) \equiv R_x(\pi(x)) + \gamma \sum_y P_{xy}[\pi(x)]V^\pi(y)$ In Dynamic Programming (DP) [5] theory, optimal policy π^* should be found. With this policy, optimal value $V^* \equiv V^{\pi^*}(x) = \max_a \{R_x(a) + \gamma \sum_y P_{xy}[a]V^*(y)\}$ can be found. This equation called Bellman Equation. Yet, in the equation, assumed R_x and $P_{xy}[a]$ are known. The QL classified as an incremental DP problem; therefore, Q-value or action-value become in the form of $Q^\pi(x, a) = R(a) + \gamma \sum_y P_{xy}[a]V^\pi(y)$.

3.2. Deep Q Network

Mnih [6] combine QL and Deep Learning (DL) approaches. Their study effects in the Deep Reinforcement Learning (DRL) which using RL with deep models and show its success. Network structure which they establish in study called Deep Q Network (DQN).

To find optimal Q-value, Bellman Equation still used. There is an assumption for the Bellman Equation. If optimal value $Q^*(s', a')$ known at next state(s'), optimal action (a') should be selected. Therefore, expected value of $r + \gamma Q^*(s', a')$ become maximum. This makes $Q^*(s, a) = E_{s' \sim \epsilon}[r + \gamma \max_{a'} Q^*(s', a')|s, a]$ equality. This equality is theoretically effective, but practically impractical because it can not to generalize. To calculate Q-value, DL model is used. In mathematical form $Q(s, a; \theta) \approx Q^*(s, a)$. After that, DL model become function approximator of Q value.

θ is parameters of Q Network. To update these parameters, loss function is selected as

$$L_i(\theta_i) = E_{s, a \sim p(\cdot)} [(y_i - Q(s, a; \theta_i))^2]$$

$$y_i = E_{s' \sim \epsilon}[r + \gamma \max_{a'} Q(s', a'; \theta_{i-1})|s, a]$$

and tried minimize at every iteration. $P(s, a)$ is a probability distribution over environment ϵ and depending variables of s and a. If DL model parameters updates at every iteration, model became QL which present by Watkins.

Experience Replay Mechanism [7] is used for decrease correlation between states which train the model. By using Experience Replay Mechanism, DL model become general function approximator. Mechanism works as putting actions and states at the past into buffer memory which also called Replay Buffer, and take some random samples (or batches) from buffer during training.

The most critical point in DQL algorithm is calculation of loss function L_i . y_i is a label which also used in supervised learning. This label calculated by Q-value function. To calculate Q-value function, reward is used. Therefore, appropriate reward function and appropriate DQN model is effects success of agent.

3.3. Double Deep Q Network

Van Hasselt [8] present a developed version of DQN. Instead of using one Q Network, Van Hasselt suggest two Q Networks. This approach called Double Deep Q Network (DDQN). In the structure of DDQN, there is twin Q Networks. Algorithm is very similar to DQN algorithm, and the difference are calculation of y_i and equalize parameters of twin networks at some points.

y_i function for DDQN in form of

$$y_i = E_{s_{i+1} \sim \epsilon}[r_{i+1} + \gamma Q^T(s_{i+1}, \text{argmax}_{a'} Q^E(s_{i+1}, a'))]$$

Q^E and Q^T represents evaluation network and target network respectively. Training is provided through the evaluation network. At some points, the evaluation network's parameters transferred to the target network. With this structure, state evaluated by the evaluation network and its value calculated by the target network. These twin networks makes more stabilized policy development. Therefore, DDQN selected in this study.

In two Q Network structure, there is an ϵ – greedy. ϵ is a probability of exploration of agent. Generally, it starts with higher values such as 1, then decrease. This helps the agent explore the environment at the beginning of the training. By decreasing the ϵ during training, agent starts deciding action by using its policy.

4. Experiments

In the experiments, Python selected as programming language, NumPy used as a linear algebraic operation library and

Algoritma 1 DQN with Experience Replay Mechanism

```

1: Initialize D memory with N capacity
2: Initialize Q value function (model) with random weights
3: for episode = 1, M do
4:    $s_1$  state initialization
5:   for t = 1, T do
6:     Action selection : random action  $a_t$  with  $\epsilon$  probability or  $a_t = \max_a Q(s_t, a; \theta)$  calculation
7:     Apply  $a_t$  action in the environment then get  $r_t, s_{t+1}$  ve terminal (boolean) values
8:     Put  $(s_t, a_t, r_t, s_{t+1}, terminal_t)$  values into memory D
9:     Get random sample (batch) from memory D as  $(s_j, a_j, r_j, s_{j+1}, terminal_j)$ 
10:     $y_j = r_j + \gamma \max_{a'} Q(s_{j+1}, a'; \theta) * (1 - terminal_j)$ 
11:     $L_j = (y_j - Q(s_j, a_j; \theta))^2$  train network with loss function
12:     $s_t = s_{t+1}$ 
13:     $\epsilon = \beta\epsilon$ , update  $\epsilon$  with  $\beta$ 
14:  end for
15: end for

```

Algoritma 2 DDQN with Experience Replay Mechanism

```

1: Initialize D memory with N capacity
2: Initialize Evaluation Network  $Q^E$  with random weights
3: Initialize Target Network as  $Q^T(\theta) = Q^E(\theta)$ 
4: C, target network equalization counter
5: for episode = 1, M do
6:    $s_1$  state initialization
7:   for t = 1, T do
8:     Action selection : random action  $a_t$  with  $\epsilon$  probability or  $a_t = \operatorname{argmax} Q^E(s_t, a)$  calculation
9:     Apply  $a_t$  action in the environment then get  $r_t, s_{t+1}$  ve terminal (boolean) values
10:    Put  $(s_t, a_t, r_t, s_{t+1}, terminal_t)$  values into memory D
11:    Get random sample (batch) from memory D as  $(s_j, a_j, r_j, s_{j+1}, terminal_j)$ 
12:     $y_j = r_j + \gamma Q^T(s_{j+1}, \operatorname{argmax}_{a'} Q^E(s_{t+1}, a')) * (1 - terminal_j)$ 
13:     $L_j = (y_j - Q^E(s_j, a_j))^2$  train network with loss function
14:     $s_t = s_{t+1}$ 
15:     $\epsilon = \beta\epsilon$ , update  $\epsilon$  with  $\beta$ 
16:    if mod(T, C) == 0 then
17:       $Q^T(\theta) = Q^E(\theta)$ 
18:    end if
19:  end for
20: end for

```

the whole mathematical applications applied with gNet [9] which is a CPU based mini deep learning library developed by the author.

The parameters selected during the application can be listed as follows. Mini batch size is 64, learning rate is 5e-6, initial ϵ is 1, β is 0.996, ϵ_{min} is 0.01, γ is 0.99, N is 1e6. DL model for DDQN structure as follow.

Layer	Neuron Number
Flatten	
Dense: ReLU	256
Dense: ReLU	256
Dense: None	5

Output layer has 5 neuron which is equal to number of possible actions. Accepted input by model is combination of 16 sensor data and 1 normalized passed object number. This combination makes an input vector which has 17 elements in it. 16 sensor data are generated when the agent detects the object or environment boundaries/border and generates values depending on the distance between [0,1]. To these data, $\mathcal{N}(0,1)$ noise which represents faulty measurement also added. Also, there is a 15% possibility of adding $\mathcal{N}(0.01,1)$ noise which represents malfunction of sensors. With these noises, possibility of faulty sensor measurement and malfunctionality can modelled.

For loss function in DDQN, "Mean Square Error (mse)" which built-in in gNet selected. Adam [10] selected as optimizer.

4.1. Setting Reward Function

Reward function depends on the environment rules and they are divided into sub-problems. There are two reward functions.

R_1 is standard reward function. The rewards and penalties are defined as:

- If agent hit boundaries of the environment or objects, agent gets 1 penalty points and start next episode,
- If agent's sensors are become active, agent gets $\frac{0.1}{\#act_sen}$ penalty points,
- Agent gets 0.01 reward points for each moment of being alive,
- Agent gets 1 reward points for passing an object,
- If agent pass over 100 objects, gets 100 reward points and start next episode.

R_2 reward function is application of Zijian et al. approach which increase rewards and decrease penalty. The rewards and penalties are defined as:

- If agent hit boundaries of the environment or objects, agent gets $\left(1 - \frac{\#pass_{obj}}{100}\right)$ penalty points and start next episode,
- If agent's sensors are become active, agent gets $\frac{0.1}{\#act_{sen}} * \sqrt{\sum sen_{val}}$ penalty points,
- Agent gets $0.01 * \frac{(100 + \#pass_{obj})}{100}$ reward points for each moment of being alive,
- Agent gets $\frac{\#pass_{obj}}{100}$ reward points for passing an object,
- If agent pass over 100 objects, gets 100 reward points and start next episode.

$\#act_{sen}$, $\#pass_{obj}$ and sen_{val} represents active sensor number, passes object number and sensor values respectively. In this reward function, increasing rewards and decreasing penalty during time by using $\#pass_{obj}$ and makes them dynamic.

5. Results and Discussion

In this study, the agent's environment is created from scratch and the agent is put into the environment to learn under required/intended conditions then understand how to set appropriate reward function. Also, understand the effects of reward function. Therefore, the effect of R_1 and R_2 reward functions on success are examined over 4 different variables.

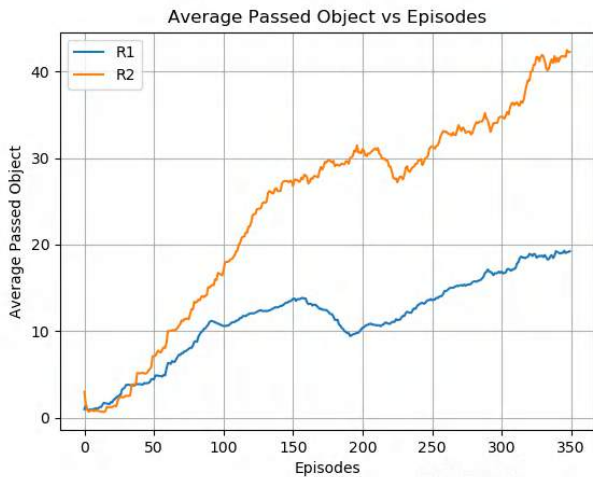


Fig. 2 Average Passed Object.

Fig. 2 shows average passed objects with respect to episodes. The orange curve represents R_2 reward function, and it shows how effects increasing the rewards and decreasing the penalty for agent performance. General trend of two curves are increasing over episodes; yet, agent with R_2 reward function has better performance. In the study, the training process has 350 episodes. If the episodes are increased, then there is a probability of having state-of-art performance. The state-of-art performance is defined as 99 average passed objects. Here, average means that the value calculated in the last 100 episodes.

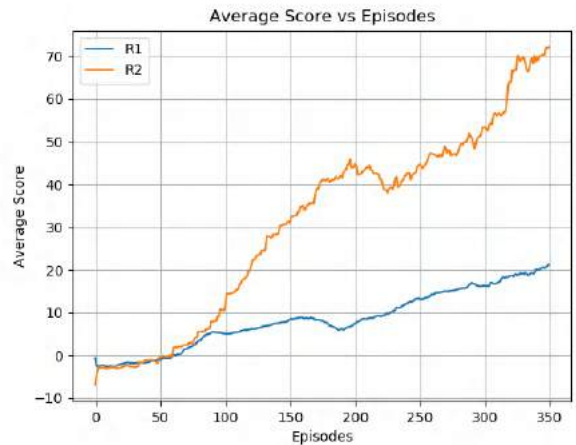


Fig. 3 Average Score.

Fig. 3 shows how the obtained scores change during the episodes. Here, the score defined the total reward of the desired episode. The orange curve represents the R_2 reward function. General trend of two curves are increasing over episodes; yet, agent with R_2 reward function has better performance.

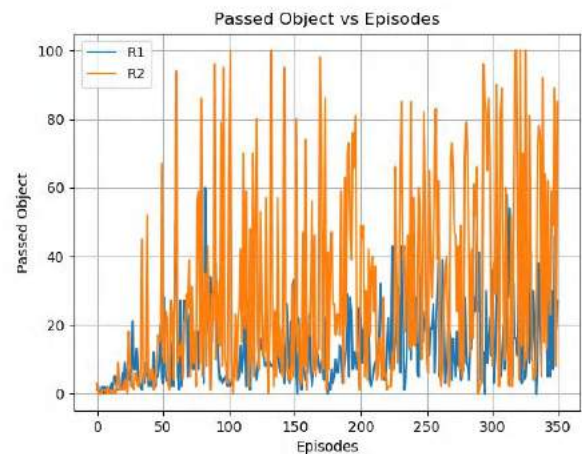


Fig. 4 Passed Object for Each Episode.

Fig. 4 shows how many object the agent passed in each episode. The orange curve represents R_2 reward function. At the initial episodes, it was observed that both R_1 and R_2 curves are overlapped and then diverged over time. Also, agent with R_2 reward function reach to big reward in most of the time.

Fig. 5 shows the obtained scores for each episode. The orange curve represents R_2 reward function. In the beginning, it was observed that both lines overlapped and diverged over time. Also, agent with R_2 reward function has a lot score most of the times.

6. Conclusion

Consequently, it is detected that, differences in reward functions has serious impact on training. And also, setting appropriate reward function which is sensitive and challenging task is very important. In this study, it is concluded that dividing sub-problems and arrange reward function by increased reward and decreasing penalty is effective on the performance of agent. As a future work, we intend to train a vehicle which has RL model with dynamic motion model. In this way, we aim to get one step closer to the solution of real problems with the vehicle with

dynamic motion model. In addition, it is also aimed to find a general solution by making the environment more stochastic.

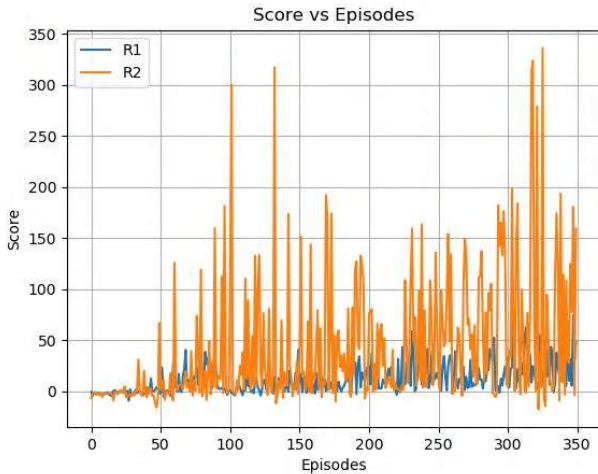


Fig. 5 Scores for Each Episode.

References

- [1] R. S. Sutton and A. G. Barto, *Introduction to Reinforcement Learning*, MIT Press, 1998.
- [2] E. Ratner, D. Hadfield-Menell and A. D. Dragan, "Simplifying Reward Design through Divide-and-Conquer," *CoRR*, vol. abs/1806.02501, 2018, [Online] <http://arxiv.org/abs/1806.02501>.
- [3] Z. Hu, K. Wan, X. Gao, and Y. Zhai, "A Dynamic Adjusting Reward Function Method for Deep Reinforcement Learning with Adjustable Parameters," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, pp. 1-10, DOI: 10.1155/2019/7619483.
- [4] C. J. C. H. Watkins and P. Dayan, "Q-Learning," *Machine Learning*, vol. 8, 1992, pp. 279-292.
- [5] R. E. Bellmann and S. E. Dreyfus, *Applied Dynamic Programming*, Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1962.
- [6] V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, A. Graves, I. Antonoglou, D. Wierstra and M. Riedmiller, "Playing Atari with Deep Reinforcement Learning," *CoRR*, vol. abs/1312.5602, 2013, [Online] <https://arxiv.org/abs/1312.5602>
- [7] L. Lin, "Reinforcement Learning for Robots Using Neural Networks," Ph.D. dissertation, School of Computer Science, Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, USA, 1993.
- [8] H. van Hasselt, A. Guez, D. Silver, "Deep Reinforcement Learning with Double Q-Learning," in *Proc. of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 30, No.1, 2016, [Online] <https://arxiv.org/abs/1509.06461>
- [9] gNet, Available: <https://github.com/MGokcayK/gNet>.
- [10] D. P. Kingma, J. Ba, (2014, 12), Adam: A Method for Stochastic Optimization in *International Conference on Learning Representations*, [Online] <https://arxiv.org/abs/1412.6980>.



The Paradigm for Solving the Derivation Problem in Infinite Models

Mehmet Kurucan ^{1*}, Mete Özbaltan ²

^{1*} Ardahan University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Ardahan, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4359-3726),
mehmetkurucan@ardahan.edu.tr

² Erzurum Technical University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Erzurum, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3215-6363),
mete.ozbaltan@erzurum.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008716)

ATIF/REFERENCE: Kurucan, M., Özbaltan, M. (2021). The Paradigm for Solving the Derivation Problem in Infinite Models. *European Journal of Science and Technology*, (28), 545-547.

Abstract

The problem of finding the most probable derivation for probabilistic context-free grammar is expensive. The Viterbi algorithm has been adopted to one-counter grammar that is a sub-class of stochastic context-free grammar to solve this issue. However, the absence of the implementation of the adapted algorithm attracts our attention. We experimentally validate this algorithm and present the implementation part of it to monitor the performance, in this research.

Keywords: Probabilistic Context-Free Grammars, Viterbi Algorithm, One-Counter Grammar, Hidden Markov Model, Formal Languages.

Sonsuz Modellerde Türetme Problemini Çözme Uygulaması

Öz

Olasılıksal bağlamdan bağımsız dilbilgisi için en olası türetmeyi bulma probleminin çözümü pahalıdır. Bu problemin çözümü için Viterbi algoritması, olasılıksal bağlamdan bağımsız dilbilgisinin bir alt sınıfı olan tek sayaçlı dilbilgisine uyarlanmıştır. Ancak adapte edilen algoritmanın uygulanmamış olması dikkatimizi çekmektedir. Bu çalışmada, bu algoritmayı deneysel olarak doğruladık ve uygulamada izlenen performansı sunuyoruz.

Anahtar Kelimeler: Olasılıksal Bağlamdan Bağımsız Dilbilgisi, Viterbi Algoritması, Tek-Sayaçlı Dilbilgisi, Saklı Markov Model, Biçimsel Diller.

* Corresponding Author: mehmetkurucan@ardahan.edu.tr

1. Introduction

Grammar is a useful tool for studying languages. It can be used to generate a complex language via all valid strings [1]. Stochastic Context-free Grammar (SCFG) is a notable proper syntax that give different production rules to be utilized in the conventional language fields [3]. The rules in the syntax can be applied paying little mind to framework. That implies the language is produced by rehashed the standard applications and their sentences are not impacted by the unique circumstance.

The derivation problem in natural languages is an important issue. The derivation (or finding most probable derive) of the stochastic context-free language and its subclasses, which is generated by using SCFG, is computed in cubic time complexity. CYK algorithm is used to solve the derivation task of SCFG [4]. However, this algorithm is expensive for the applications of natural language processing.

The circumstance of this issue attempted to be solved in linear time by adopting a dynamic programming algorithm which is called Viterbi [2]. This algorithm is used for decoding problem of a Hidden Markov Model (HMM) [5]. The inference of the most likely derivation is settled in linear time of the size of the contribution for these languages by the Viterbi calculation [6].

This work [2] adopted this dynamic programming algorithm to lessen the time complexity of derivation problem of stochastic context-free languages (SCFL) from cubic to liner time level. They focused on one-counter language (OCL) which is an important subclass of SCFL to solve this issue. However, the study was only considered theoretically, the implementation was not included.

It is well-known fact that the language processing is an important issue; in this manner the application part is also very important. As it well known, more often than not, such theoretical works are not validated unless they are implemented. In this study, we examine this subject and show the power of the adopted algorithm by completing the missing implementation part of [2].

The rest of this work is organized as follow. Section II gives definition of the Viterbi and probabilistic one-counter model. In Section III, we represent the implementation code of the adopted Viterbi algorithm and results. In Section IV, we conclude the whole paper.

2. Definitions

In this section, we briefly give simple descriptions of the Viterbi algorithm and probabilistic one-counter systems with their languages that are produced through one-counter grammar to ensure the readers comprehend the paper without any problem

2.1. The Viterbi Algorithm

The instructional paper [7] presented three fundamental problems for HMMs. One of them is the interpreting issue that in regards to finding the best derivation which clarifies the given output sequence. The Viterbi calculation is utilized to solve this issue in HMMs. It is officially characterized as

$$v_t(q) = \max_{S_1 \dots S_{t-1}} Pr(S_1 \dots S_{t-1}, o_1 \dots o_t, S_t = q) \quad (1)$$

In here, $v_t(q)$ denotes the maximum likelihood value of hidden state q after passing through $S_1 \dots S_{t-1}$.

2.2. Probabilistic One-Counter Systems

The simple definition of one-counter model can be represented as it is a subclass of probabilistic push-down model [8]. Literally a pushdown system is providing an infinite input size due to it consists a stack. For each transition process a stack symbol either is pushed into the stack or popped from the stack. Thus, the system provides a powerful infinite state model.

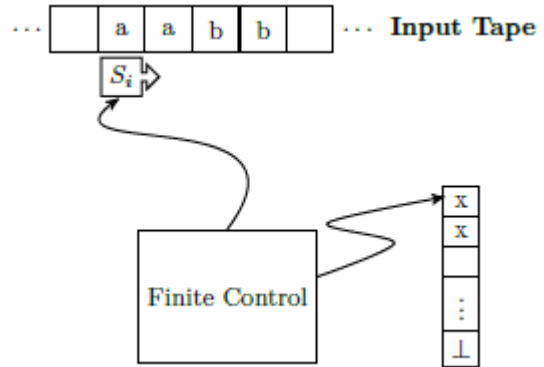


Fig. 1 The structure of one-counter model

The structure of one-counter model is very similar to pushdown model but it contains only one stack symbol. The number of the stack symbol represents the counter. As shown in Fig. 1, there are three components: input tape, a control unit (i.e. S_t) and a stack. The counter (i.e. the number of the stack symbol) can be incremented or decremented depending on the transitions (i.e. reading one symbol from the input tape). There are also two transition functions δ^0 and δ^+ which are enabled depending on the counter value equals to zero or not.

2.3. Methodology

According to [2], the Viterbi algorithm was adopted to probabilistic one-counter model for derivation issue in stochastic context-free languages. Let attempt to clarify the methodology part of this work without dive into too many details. Let S represents the finite control state, A denotes alphabet, $F \subset S$ is particular final state. According to [2], a transition form is

$$s, a, \delta \rightarrow r, k$$

where s and r are control states, a is alphabet, $\delta \in \{0,1\}$, and $k \in \{-1,0,1\}$. If $\delta = 0$ then δ^0 is enabled. The counter value can be either same or incremented after a particular transition. If $\delta = 1$ then the transition function δ^+ is enabled. The counter changes can be as unchanged, increased, or decremented after the transition. Each transition is related with a probability value. Thus, the sum of the probability of each transition must equal to one. At the initial step, the counter value is zero. The given input tape is accepted if and only the machine is in the final state with zero counter value after the last symbol of the input tape is perused.

The adopted version of the Viterbi algorithm takes an input tape as input and it gives the probability value of the most probable derivation, state and counter sequences as *output*.

3. Results

In this part, we analyse how adopted Viterbi is executed according to our perspective. First and foremost, we create the dataset which corresponds to a probabilistic one-counter framework. We produced diverse datasets relying upon the quantity of the control states and input symbols. Then, at that point, we made our own pseudocode as opposed to utilizing it from [2].

```

1) Initialization
Read dataset
Make init
for (sequence ∈ sequenceList)
2) Finding Viterbi Values
  for (t ∈ T)
    for (s ∈ stateList)
      for (c ∈ c+k)
        for (viterbiValue ∈  $\delta[t-1,s,c]$ ) (t = 0 ? 1 : cont.)
          if maxViterbiValue < viterbiValue
            maxViterbiValue = viterbiValue
           $\delta[t,s,c] = \text{maxViterbiValue}$ 
3) Finding State Sequence Traceback
  for (t=T;t ∈ T;t-1) (t = T ? s = finalS & c = finalC : cont.)
    prob =  $\text{max}_{\text{prob}}(\delta)$ 
    s' =  $\text{max}_s(\delta)$ 
    c' =  $\text{max}_c(\delta)$ 
    stb[t] = [s',c',prob]
    
```

Fig. 2 Pseudocode of the adopted Viterbi algorithm

Fig. 2 shows the pseudocode of the adopted Viterbi algorithm, where: *dataset* includes all the given dataset eg., observation sequences and the number of states and symbols in the given sequences; and *init* creates the zero matrices used in the program. The first loop executes the Viterbi algorithm for each sequence among all sequences in a given dataset. Latter, three nested loops find the maximum Viterbi value for the trio *t, s, c*, where they denote the current time, state, and counter respectively, and then δ identically stores it. Then, the sequence traceback *stb* holds the maximum Viterbi value *prob* with the state *s'* and counter *c'* pair, with the direction from the final state towards the starting state.

Table 1. KL Diversion Comparison of adopted Viterbi algorithm and CYK algorithm

Input	Adopted Viterbi	Original Viterbi
D:20;L:20;S:2;O:2	0,2509	46,5618
D:50;L:50;S:2;O:2	0,5956	81,0225
D:100;L:100;S:2;O:2	1,4965	187,4625
D:20;L:20;S:3;O:3	0,1827	26,7187
D:50;L:50;S:3;O:3	0,4732	35,4326
D:100;L:100;S:3;O:3	0,2488	42,2428
D:20;L:20;S:4;O:4	0,2501	15,6061
D:50;L:50;S:4;O:4	0,3276	25,0568
D:100;L:100;S:4;O:4	0,1083	6,3593

Eventually, we thought about the power of adopted Viterbi against to unique Viterbi calculation. Yet, remind that the counter value is consistently zero when the original Viterbi proceeds. We utilized Kullback-Leibler (KL) divergence to address the outcomes.

Table 1 shows the KL diversion comparison of the adopted Viterbi and original Viterbi algorithms; where the header input in the table indicates that: D is the dimension; L is the length; S is the number of states; and O is the number of observations. As the outcomes in the table show, the KL values of the model nearest to the first model are more like zero. Along these lines, as per the outcomes, the adopted Viterbi calculation is utilized as a dynamic programming algorithm in the derivation problem of languages delivered by a one-counter grammar.

4. Conclusion

In this paper, we initially clarify an alternative calculation that is utilized to take care of the derivation issue in the stochastic context-free languages is done in [2]. That work focused on the issue only theoretically. Yet, the implementation part has a significant spot while working on language processing. We filled this gap by executing the adopted calculation and show and validate its force against the original. As per the accomplished outcomes, the embraced rendition of the Viterbi calculation can be utilized as a dynamic programming calculation to take care of the inference issue of stochastic context-free languages by decreasing the calculation cost.

References

- [1] C. D. Manning and H. Schutze, *Foundation of Statistical Natural Languages* MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999.
- [2] A. Sakharov and T. Sakharov, "The Viterbi algorithm for subsets of stochastic context-free languages", *Information Processing Letters.*, vol. 135, pp. 68-72, Jul. 2018.
- [3] J. Autebert, J. Berstel and L. Boasson, *Context-free Languages and Pushdown Automata in: Handbook of Formal Languages*, Springer,1997.
- [4] J. C. Chappelier, and M. Rajman, "A generalized cyk algorithm for parsing stochastic cfg," in *Proc.TAPD'98*, 1998, p. 133.
- [5] A. J. Viterbi, "A personal history of the Viterbi algorithm," *IEEE Signal Process.*, vol. 4, pp. 120, 2006.
- [6] B. Brejova, D. G. Brown and T. Vinar, "Advances in hidden Markov models for sequence annotation", *Bioinformatics Algorithm: Techniques and Application*, vol. 3, pp. 55-92, 2008.
- [7] L. R. Rabiner. "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition", *Morgan Kaufmann Publishers Inc.*, 1990, p. 267.
- [8] K Etessami, D. Wojtczak and M. Yannakakis, "Quasi-birth-death processes, tree-like qbds, probabilistic 1-counter automata, and pushdown system," in *QEST'08*, 2008, p. 243.



TOPSİS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Güneş Enerjisi Sistemlerinde Panel Seçimi

Fulya Aslay^{1*}

^{1*} Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5212-6017), faslay@erzincan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008727)

ATIF/REFERENCE: Aslay, F. (2021). TOPSİS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Güneş Enerjisi Sistemlerinde Panel Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 548-551.

Öz

Fosil kaynaklı yakıtların gün geçtikçe tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi de gittikçe artmaktadır. Güneş enerjisi teknolojisi, mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı büyüyen ve en popüler olanlardan biridir. Foto voltaik (PV) sistemler olarak da bilinen güneş enerjisi sistemleri, güneş ışımının evrensel olarak kullanılabilirliği ve PV panelini tüketici tarafında kurma esnekliği nedeniyle en çok aranan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemizde son yıllarda popülerliği giderek artan güneş enerjisi sistemleri genelde ticari amaçlı ve çatı tipi denilen evsel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Monokristal, perc monokristal, polikristal, ince film ve yarı esnek olmak üzere beş tip güneş paneli bulunmaktadır. Kullanıcıların bu farklı hücre tipine sahip panellerden hangisini kullanacağına karar vermesi aşamasında göz önünde bulundurduğu ve öncelik verdiği parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler doğrultusunda kullanıcıların kendilerine en uygun güneş panelini belirlemeleri her zaman gözle ve kısa sürede mümkün olmayabilir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSİS ile kullanıcıların kendi belirledikleri önem derecelerine göre maliyet, sıcaklık katsayısı ve enerji verimliliği açısından en uygun güneş paneli seçimlerine yardımcı olmak için bir model gerçekleştirilmiştir. Bu model sayesinde evsel uygulamalarda kullanıcıların kendi tercihlerine en uygun olan güneş panelleri sıralanarak kullanıcılara liste halinde sunulmakta ve böylece en optimum ürüne karar verme işlemi başarıyla ve mümkün olan en kısa sürede sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok kriterli karar verme, Güneş enerjisi, TOPSİS, Güneş paneli, Enerji verimliliği.

Photovoltaic Panel Selection in Solar Energy Systems with TOPSIS Multi-Criteria Decision Making Method

Abstract

The importance of renewable energy sources is increasing day by day due to the depletion of fossil fuels. Solar technology is one of the fastest growing and most popular renewable energy sources available. Solar power systems, also known as photovoltaic (PV) systems, are the most sought-after renewable energy source due to the universal availability of solar radiation and the flexibility to install the PV panel on the consumer side. Solar energy systems, which have become increasingly popular in our country in recent years, are generally used for commercial purposes and in domestic applications called roof type. There are five types of solar panels which names are monocrystalline, perc monocrystalline, polycrystalline, thin film and semi-flexible. There are parameters that users consider and prioritize when deciding which of these panels with different cell types to use. In line with these parameters, it may not always be possible for users to determine the most suitable solar panel visually and in a short time. In this study, a model has been developed with TOPSIS, one of the multi-criteria decision-making methods, to help the users choose the most suitable solar panel in terms of cost, temperature coefficient and energy efficiency according to their own importance. Due to this model, the solar panels that are most suitable for the users' own preferences in domestic applications are listed and presented to the users in a list, so that the most optimum product is decided successfully also in the shortest possible time.

Keywords: Multi-criteria decision making, Solar energy, TOPSİS, Solar panel, Energy efficiency.

* Sorumlu Yazar: faslay@erzincan.edu.tr

1. Giriş

Fosil kaynaklı yakıtların gün geçtikçe tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi de gittikçe artmaktadır. Güneş enerjisi teknolojisi, mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı büyüyen ve popüler olanlardan biridir. Güneş enerjisi üretimi, yarı iletken ara yüzünün fotovoltaik (PV) etkisini kullanarak ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren bir teknolojidir. Güneş pilleri bu teknolojinin en önemli anahtar unsurudur. Bir dizi güneş pili kapsüllenmiş korumadan sonra, bir fotovoltaik sistem cihazı oluşturmak için güç kontrolörü ve diğer bileşenlerle birleştğinde geniş alanlı bir güneş paneli modülü oluşturur. Fotovoltaik (PV) sistemler olarak da bilinen güneş enerjisi sistemleri, güneş ışınımının evrensel olarak kullanılabilirliği ve PV panelini tüketici tarafında kurma esnekliği nedeniyle son yıllarda yenilenebilir enerji kaynağıdır [1-3]. Ülkemizle son yıllarda popülerliği artan güneş enerjisi sistemleri genelde ticari amaçlı ve çatı tipi denilen evsel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden maksimum şekilde yararlanabilmek için kurulum esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri hiç şüphesiz güneş paneli tercihidir. Özellikle çatı tipi güneş enerji sistemlerinde panel verimliliği oldukça önem arz etmektedir. Kullanıcıların kurulum esnasında doğru panel seçimi yapabilmesi güneş enerjisinden maksimum boyutta faydalanabilmek için önemli bir husustur [4-6].

Güneş paneli seçiminde dikkat edilecek birçok unsur vardır. Bunlar; maliyet, panel kalitesi, enerji verimliliği, güneş paneli sıcaklık katsayısı, panel kullanım ömrü, panel gücü ve güneş paneli hücre tipidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan beş tip güneş paneli vardır. Bunlar monokristal, perc monokristal, polikristal, ince film ve yarı esnek güneş panelleridir. Panel üzerindeki güneş hücrelerinin malzeme yapısına göre farklılık gösteren bu panellerin performans ve enerji verimliliği de farklılık göstermektedir. Dolayısıyla kullanıcıların bu farklı hücre tipine sahip panellerden hangisini kullanacağına karar vermesi aşamasında göz önünde bulunduracağı ve öncelik verdiği parametreler önem arz etmektedir. Yukarıda bahsedilen bu parametrelerden panel kullanım ömrü, panel kalitesi ve panel gücünün aynı şartlarda olduğu düşünülerek kullanıcılar genellikle maliyet, güneş paneli sıcaklık katsayısı ve enerji verimliliği açısından bir karar vererek bir tercihte bulunmaktadır.

Güneş paneli tercihinde önemli kriterlerden biri olan sıcaklık katsayısı % /oC birimi ile ifade edilen ve panelin enerji üretiminin sıcaklıktan ne ölçüde etkileneceğini anlatan bir değerdir. Güneş panelleri elektrik enerjisi üretirken, güneşten alınan ışınımın bir kısmı elektrik enerjisine dönüşürken bir kısmı da ısıya dönüşür. Dolayısıyla paneller de ister istemez ısınmaktadır. Güneş panel hücrelerinin ısınmasıyla birlikte akım değeri artarken gerilim değeri de düşmektedir. Gerilimde meydana gelen bu düşüş ile panel gücü düşmekte ve güneş paneli daha az elektrik enerjisi üretmektedir. Dolayısıyla güneş panellerinden daha fazla enerji üretimi yapılabilmesi adına güneş paneli sıcaklık katsayısının düşük olması istenir.

Kullanıcıların tercihte bulunurken dikkat edeceği diğer iki parametreden biri olan maliyetin düşük, enerji verimliliğinin de doğal olarak yüksek olması istenir. Enerji verimliliği, ışınımın elektrik enerjisine dönüştürülme oranı olarak da tanımlanabilir. Enerji verimliliği ile maliyet arasında doğru orantı bulunmakta ve verim arttıkça panel fiyatlarının da arttığı bilinmektedir. Ancak

en verimli panelin en iyi panel anlamına gelmeyeceği de göz önünde bulundurularak bu çalışma da kullanıcıların enerji verimliliği, maliyet ve güneş paneli sıcaklık katsayısı açısından tercih yaparken çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanılarak bir model geliştirilmiştir. ÇKKV yöntemleri literatürde birçok alanda olduğu gibi yenilenebilir enerji kaynakları için de çok kriterli alternatiflerin değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. [7] numarada sunulan çalışmada, TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en uygun olanı belirlemeye çalışmışlardır. [8] numaralı çalışmada İran’daki bir bölgede sürdürülebilirliği sağlamak için 18 farklı kriter TOPSIS yöntemi ile kıyaslanmıştır. [9] numaralı çalışmada, TOPSIS yöntemi kullanarak Pakistan için güneş, hidroelektrik, biyokütle, rüzgâr ve jeotermal enerji için sıralama yapılmıştır.

2. TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi

Karar vericilere karar vermelerinde yardımcı olabilmek için çok kriterli karar verme yöntemleri ilk olarak 1960lı yıllarda geliştirilmeye başlanmıştır. Karar verme işlemi; anlama, tasarım, seçim ve uygulama olmak üzere dört aşamalı çok adımlı bir süreç olarak tanımlanmaktadır [10]. Öncelikle problemim nerede olduğu anlaşıldıktan sonra probleme yönelik farklı çözümler tasarlanıp alternatif çözümler içerisinde biri belirlenerek uygulanır ve çözümün problem üzerindeki etkisi belirlenir. Eğer çözüm yeterince etkin değilse karar verme aşamalarından bir önceki aşamaya dönülür ve gerektiğinde bu geri dönüşler tekrarlanır [11].

Çok kriterli karar verme yöntemleri özellikle alternatif ve kriter sayısının fazla olduğu problemlerde her bir alternatifin birlikte değerlendirilmesiyle uygulanarak nitel ve nicel kriterlere göre kararların daha hızlı ve kolay bir şekilde verilmesini sağlamaktadırlar [12-14]. AHP, ANP, Topsis, Electre, Maut, Vikor, Uta, Promethee, Gra, Dematel, Moora gibi çok kriterli karar verme yöntemleri günlük hayatımızda verilen kişisel kararlardan işletmelerin stratejik ve kritik kararlarına kadar birçok farklı alanda uygulanmaktadır.

ÇKKV yöntemlerinden biri olan TOPSIS methodu Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir [15]. Bu teknik ideal çözüme en yakın, ideal olmayan çözüme de en uzak olan önceliği belirlemek için kullanılır. Önce karar matrisi vektör normalizasyonuna göre normalize edilir böylece ideal olan ve olmayan çözümler bu normalize edilmiş matris üzerinden tanımlanır [16]. TOPSIS metodunda alternatifler, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözümden ise en uzak olmaları yönünden değerlendirilerek sıralanırlar. Bu yakınlık Öklid uzaklığı kullanılarak belirlenir. TOPSIS yöntemi hesaplamadaki basitliği, rasyonelliği ayrıca kolay kavranabilirliği ve değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılmasına imkân vermesi nedeniyle literatürde en çok kullanılan tekniklerden biridir [17]. Az sayıda parametre ile değerlendirme yapılabilirdiğinden TOPSIS yöntemi en çok tercih edilen ÇKKV yöntemlerinden biri olup tek başına bazen de diğer yöntemlerle bütünleşik olarak kullanılabilir. Burada her bir parametrenin ölçüğü aynı birim üzerinden olmalıdır.

3. Uygulama

Bu çalışmada karar verme için kullanılacak kriterlerin tek düze artışı ve tek düze azalışları olduğundan ÇKKV yöntemleri içerisinde TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. TOPSIS

yönteminde alternatif seçenekler kendi aralarında minimum ve maksimum değerler arasındaki ideal olma durumlarına göre karşılaştırılarak sıralanırlar.

Çalışmada kullanılan güneş panelleri türleri Tablo 1’de, seçim kriterleri olan maliyet, sıcaklık katsayısı ve verim parametreleri için TOPSIS ideal çözüm hedefleri ise Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Güneş Paneli Türleri

Alternatif	Güneş Paneli Türü
A1	İnce Film Esnek
A2	Yarı Esnek
A3	Monokristal
A4	Polikristal
A5	Perc monokristal

Tablo 2. Güneş Paneli Seçim Kriterleri

Kriter	Karar Parametresi	TOPSIS İdeal Çözüm Hedefi	Ağırlığı
K1	Maliyet	Minimum	0,45
K2	Sıcaklık Katsayısı	Minimum	0,25
K3	Verim	Maksimum	0,30

Belirlenen güneş paneli türleri için seçim kriterlerine göre belirlenen karar matrisi Tablo 3’de sunulmaktadır.

Tablo 3. Karar Matrisi

Alternatif	K1	K2	K3
A1	3109	0,38	16,5
A2	2206	0,31	24,8
A3	812	0,41	19,68
A4	602	0,45	17,25
A5	900	0,39	20,2

Karar matrisinde, değerlendirme kriterleri TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiştir. Her kriterin önem derecesi olan ağırlıkları verilen karar matrisi örneği için farklı kabul edilmiştir. Buna göre kullanıcı tarafından maliyetin 0,45 bununla birlikte sıcaklık katsayısının 0,25 ve verimin 0,30 önem derecesi ile belirlendiği kabul edilmiştir. İdeal çözüme mutlak yakınlık değeri olan C* değeri, çalışmada Microsoft Excel programı aracılığıyla hesaplanmıştır. C* değeri ne kadar büyükse o panel türü o derece iyi bir alternatiftir. TOPSIS yönteminin işlem basamakları aşağıda yer almaktadır [18, 19].

Adım 1: Karar matrisi oluşturulur. Burada satırlarda seçime karar verilecek alternatifler sütunlarda ise değerlendirmeye tabi tutulan parametreler belirlenir.

Adım 2: Karar matrisinde bulunan kriterler normalize edilir. Bunun için kriterlere ait değerlerin karelerinin toplamının karekökü alınarak tüm kriterler -1 ile +1 arasında değer alırlar. Burada i satırları ve j sütunları göstermek üzere normalizasyon işlemi;

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}} \quad (1)$$

$$(i=1, \dots, n; j=1, \dots, k)$$

Buna göre çalışmada veri seti içerisinde bulunan tüm değerler Tablo 4’de olduğu gibi normalize edilmiştir.

Tablo 4. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Alternatif	K1	K2	K3
A1	0,77	0,43	0,37
A2	0,55	0,35	0,56
A3	0,20	0,47	0,44
A4	0,15	0,52	0,39
A5	0,22	0,45	0,45

Adım 3: Kriterlerin önem derecesine göre karar matrisindeki tüm kriterler ağırlıklandırılır. Tüm kriter ağırlıklarının toplamı 1’e eşit olmalıdır. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi Tablo 5’de sunulmaktadır. Buna göre karar verme kriterlerinden maliyet %45, sıcaklık toleransı 0,25 verim ise %30 oranında karar vermeyi etkilemektedir.

Tablo 5. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Alternatif	K1	K2	K3
A1	0,77	0,43	0,37
A2	0,55	0,35	0,56
A3	0,20	0,47	0,44
A4	0,15	0,52	0,39
A5	0,22	0,45	0,45
Ağırlığı	0,45 (minimum)	0,25 (minimum)	0,30 (maksimum)

Adım 4: pozitif ideal çözüm A⁺ ve negatif ideal çözüm A⁻ noktaları tanımlanır. Bunun için ağırlıklandırılmış karar matrisindeki her bir sütunun maksimum ve minimum değerleri tespit edilir.

$$A^+ = \{x_1^+, x_2^+, \dots, x_k^+\} : \text{maksimum değerler,}$$

$$A^- = \{x_1^-, x_2^-, \dots, x_k^-\} : \text{minimum değerlerdir.}$$

Buna göre veri setinde hesaplanan A⁺ ve A⁻ değerleri Tablo 6’da sunulmaktadır.

Tablo 6. Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri

	K1	K2	K3
Pozitif İdeal Çözüm (A ⁺)	0,35	0,13	0,17
Negatif İdeal Çözüm (A ⁻)	0,07	0,09	0,11

Adım 5: Pozitif ideal noktaya uzaklık olan S_i⁺ ve negatif ideal noktaya uzaklık olan S_i hesaplanır;

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^+)^2} \quad (2)$$

$$(i=1, \dots, n)$$

Adım 6: Karar matrisindeki her bir alternatifin ideal çözüme göre göreceli yakınlık değeri olan C_i⁺ hesaplanır. Yakınlık katsayısı - ve 1 arasında değer alıp yakınlık katsayısı en yüksek hesaplanan alternatif seçime en uygun alternatif olarak belirlenir. Daha sonra tüm alternatifler ideal çözüme yakınlık değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanırlar.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^-)^2} \quad (3)$$

(i=1,.....,n)

$$C_i^+ = S_i^- / S_i^+ + S_i^-, 1 \geq C_i \geq 0 \quad (i=1,.....,n)$$

Buna göre hesaplanan pozitif ideal noktaya uzaklık olan S_i^+ ve negatif ideal noktaya uzaklık olan S_i^- değerleri ile göreceli yakınlık değerleri C^* Tablo 7’de sunulmaktadır;

Tablo 7. İdeal Çözüme Göre Yakınlık ve Göreceli Yakınlık Değerleri

Alternatif	S^+	S^-	C^*
A1	0,0594	0,2796	0,8247
A2	0,1081	0,1870	0,6336
A3	0,2581	0,0427	0,1420
A4	0,2835	0,0404	0,1247
A5	0,2483	0,0474	0,1603

Beş tipte ele alınan güneş panellerinin belirlenen kriterlere göre TOPSIS yöntemi ile değerlendirmesi sonucunda kullanıcılar açısından tercih edilebilirliği $A1 > A2 > A5 > A3 > A4$ olarak bulunmuştur. Buna göre ince film esnek, yarı esnek, monokristal, polikristal ve perc monokristal olmak üzere beş farklı hücre tipine sahip güneş paneli içerisinden; maliyet ve sıcaklık katsayısının minimum, verimin ise maksimum olmasının tercihinin göre ince film esnek güneş paneli en iyi, polikristal güneş paneli ise kullanıcının tercihinin en az uygun alternatif olarak belirlenmiştir.

4. Sonuçlar

Yenilenebilir enerji sistemlerinden en yaygın olarak kullanılanlarından biri de güneş enerjisi sistemleridir. Güneş enerjisi üretiminde kullanılan güneş panelleri farklı yapılarda üretilmekte ve ihtiyaca göre tercih sebebi değişebilmektedir. Kullanıcılar güneş paneli seçiminde genellikle niteliksel ve niceliksel kriterleri göz önünde bulundurmaktadır. Dolayısıyla kullanıcıların bu kriterler arasından kendi tercihlerine göre kısa sürede seçim yapabilmeleri önemli bir kolaylaştırıcı unsurdur. Bu çalışmada güneş paneli seçiminde belirlenen kriterlere göre alternatiflerin değerlendirildiği ve kullanıcılara karar vermelerinde yardımcı olabilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS kullanılmıştır. TOPSIS ile geliştirilen model Monokristal, perc monokristal, polikristal, ince film ve yarı esnek olmak üzere beş farklı hücre tipine sahip güneş panellerinden kullanıcılara kendi belirledikleri önem derecelerine göre maliyet, sıcaklık katsayısı ve enerji verimliliği açısından en uygun güneş paneli seçmelerine yardımcı olmaktadır. Böylece kullanıcıların seçimlerini daha kısa sürede ve doğru bir şekilde yapabilmeleri sağlanmaktadır.

Kaynakça

[1] R. Foster, M. Ghassemi and A. Cota, “Solar Energy, Renewable Energy and the Environmental”, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, ISBN 978-1-4200-7566-3, 2010.
 [2] W. Charters, “Developing markets for renewable energy technologies,” Journal of Renewable Energy, vol. 22, no. 1-3, pp. 217– 222, 2001.

[3] T. Eswam and P. L. Chapman, “Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques,” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 439– 449, 2007.
 [4] Balo, F., and Sagbansua, L., “The selection of the best solar panel for the photovoltaic system design by using AHP”, Energy Procedia, vol. 100, pp. 50–53, 2016.
 [5] Wang, C.-N., Nguyen, V.T. and Hoang, D.H.D., “Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Vietnam”, Energies, vol 11, pp. 1504-1508, 2018.
 [6] Wang, T.C. and Tsai, S.Y., “Solar Panel Supplier Selection for the Photovoltaic System Design by Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approaches”, Energies, vol 11, pp. 1989-1998, 2018.
 [7] Trappey, A.J., Trappey, C.V., Wang, D.Y., Ou, J.J. and Li, S.J., “An Integrated Self-Organizing Map and Analytic Hierarchy Process Modeling Approach for Evaluating Renewable Energy Policies”, International Journal of Electronic Business Management, vol. 13, pp. 3-14, 2015.
 [8] Aryanpur, V., Atabaki, M. S., Marzband, M., Siano, P. and Ghayoumi, K., “An overview of energy planning in Iran and transition pathways towards sustainable electricity supply sector”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 112, pp. 58-74, 2019.
 [9] Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., Valasai, G. D., Khan, M. W. A. and Ikram, M. “An Integrated DelphiAHP and Fuzzy TOPSIS Approach toward Ranking and Selection of Renewable Energy Resources in Pakistan”, Processes, vol. 7, pp. 118-124, 2019.
 [10] Simon, Herbert Alexander., The New Science of Management Decision. New York: Harper, 1960.
 [11] Laudon, C. K. and Laudon, J. P., “Management information systems”, 7th Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
 [12] Ballı, S., “Fuzzy çok kriterli karar verme ve basketbolda oyuncu seçimine uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla 2005.
 [13] Cho K. T., “Multicriteria decision methods: an attempt to evaluate and unify,”.Mathematical and Computer Modelling, vol. 37, pp. 1099-1119, 2003.
 [14] Chatterjee P., Athawale V. M., and Chakraborty S., “Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods,” Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 26, pp. 480-489, 2010.
 [15] Hwang, C. L. and Yoon, P., “Multiple Attribute Decision Making In: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems,” Springer-Verlag, Berlin, 1981.
 [16] Mohammadshahi, Y. “A state-of-art survey on TQM applications using MCDM techniques,” Decision Science Letters, vol. 2, no. 3, pp. 125–134, 2013.
 [17] Deng, H., Yeh, C.H. and Willis, R.J., “InterCompany Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights” Computers & Operations Research, vol. 27, pp. 963-973, 2000.
 [18] Jahanshahloo, G.R., Lotfi, F.H. and Izadikhah, M. “An Algorithmic Method to Extend TOPSIS for Decision-Making Problems with Interval Data” Applied Mathematics and Computation, vol. 175, pp. 1375- 1384, 2006.
 [19] Chamodrakas, I., Leftheriotis, I. and Martakos, D., “In-Depth Analysis and Simulation Study of an Innovati ve Fuzzy Approach for Ranking Alternatives in Multiple Attribute Decision Making Problems Based on TOPSIS,” Applied Soft Computing, vol. 11, pp. 900-907, 2011.



Number of Subsets of the Set $[n]$ Including No Three Consecutive Even Integers

Barış Arslan^{1*}, Kemal Uslu²

^{1*} Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6972-3317), barismath@gmail.com

² Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6265-3128), kuslu@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1008742)

ATIF/REFERENCE: Arslan, B. & Uslu, K. (2021). Number of Subsets of the Set $[n]$ Including No Three Consecutive Even Integers. *European Journal of Science and Technology*, (28), 552-556.

Abstract

Consider an integer sequence counting the number of subsets of S of the set $\{1, 2, \dots, n\}$ containing no three consecutive even integers. The sequence is associated with the Tribonacci sequence. Furthermore, we investigate some basic properties of the sequence.

Keywords: Tribonacci numbers, recurrence relation, consecutive even integers, generating function, combinatorial representation.

$[n]$ Kümesinin Ardışık Üç Çift Tam Sayı İçermeyen Alt Kümelerinin Sayısı

Öz

$\{1, 2, \dots, n\}$ kümesinin ardışık üç çift tam sayı içermeyen S alt kümelerinin sayısını veren tam sayı dizisini alalım. Bu dizi Tribonacci sayı dizisi ile ilişkilendirildi. Ayrıca dizinin bazı temel özellikleri incelendi.

Anahtar Kelimeler: Tribonacci sayıları, rekürans bağıntı, ardışık çift sayılar, üreteç fonksiyon, kombinatoriyal gösterim.

* Corresponding Author: barismath@gmail.com

1. Introduction

Fibonacci sequence and similar integer sequences are used in many fields from engineering to art. The Tribonacci numbers are a generalization of the Fibonacci numbers. Some properties of Tribonacci numbers are given in [1, 3, 5, 6, 9, 10].

The Tribonacci sequence $(T_n)_{n \geq 0}$ is defined by the third-order recurrence relation:

$$\begin{aligned} T_n &= T_{n-1} + T_{n-2} + T_{n-3}, \\ T_0 &= 0, T_1 = 1, T_2 = 1 \end{aligned} \tag{1}$$

In [7] the Binet's formula for the Tribonacci sequence is given by

$$T_n = \frac{\alpha^{n+1}}{(\alpha - \beta)(\alpha - \gamma)} + \frac{\beta^{n+1}}{(\beta - \alpha)(\beta - \gamma)} + \frac{\gamma^{n+1}}{(\gamma - \alpha)(\gamma - \beta)} \tag{2}$$

where α, β and γ are roots of the cubic equation $x^3 - x^2 - x - 1 = 0$, ie.,

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}, \\ \beta &= \frac{1 + \omega \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \omega^2 \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}, \\ \gamma &= \frac{1 + \omega^2 \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \omega \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}, \end{aligned}$$

where $\omega = \frac{-1+i\sqrt{3}}{2}$ is a primitive cube root of unity.

“The number of subsets S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ such that S contains no three consecutive integers.” can be expressed in terms of the Tribonacci numbers. The answer is T_{n+2} by obtaining a recurrence by considering those subsets S which do or do not contain the first element ‘1’. By taking consecutive even integers instead of consecutive integers, we consider the following counting problem:

What is the number of subsets S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ such that S contains no three consecutive even integers? In this paper, we denote the sequence by $(b_n)_{n \geq 0}$ corresponding to the counting problem.

After obtaining recursive definition of the sequence $(a_n)_{n \geq 0}$, we give the generating function, the closed form formula, the combinatorial representation and limit of the ratios of consecutive terms of the sequence.

2. Main Results

2.1. Recursive definition of the sequence

Let's write subsets S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ such that S contains no three consecutive even integers for some small n values:

It's clear that for $n < 6$, $b_n = 2^n$. Since there are no three consecutive even integers for $n < 6$. Hence, we get the initial conditions:

$$b_0 = 1, b_1 = 2, b_2 = 4, b_3 = 8, b_4 = 16, b_5 = 32$$

For $n = 6$, there are $2^6 - 2^3 = 56$ subsets of the set $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ such that S contains no three consecutive even integers. Hence, $b_6 = 56$.

Consider subsets counted by b_n . Let's find a recurrence for the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$. For $n > 5$ there are the following cases for the subsets:

- 1) The number of subsets not containing 2 as an element is $2b_{n-2}$.
- 2) The number of subsets which contain 2, but don't contain 4, is $4b_{n-4}$.
- 3) The number of subsets which contain 2 and 4, but don't contain 6, is $8b_{n-6}$.

This gives a recurrence

$$b_n = 2b_{n-2} + 4b_{n-4} + 8b_{n-6}. \tag{3}$$

2.2. Generating function and the Binet formula of the sequence

Let the generating function associated to the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$ be the formal power series

$$F(x) = \sum_{n \geq 0} b_n x^n.$$

To find $F(x)$, multiply both sides of the recurrence relation (3) by x^n and sum over the values of n for which the recurrence is valid, namely, over $n \geq 6$. We get,

$$\sum_{n \geq 6} b_n x^n = \sum_{n \geq 6} 2b_{n-2} x^n + \sum_{n \geq 6} 4b_{n-4} x^n + \sum_{n \geq 6} 8b_{n-6} x^n \tag{4}$$

Then try to relate these sums to the unknown generating function $F(x)$. We have,

$$\sum_{n \geq 6} b_n x^n = F(x) - b_0 - b_1 x - b_2 x^2 - b_3 x^3 - b_4 x^4 - b_5 x^5$$

$$= F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3 - 16x^4 - 32x^5$$

$$\sum_{n \geq 6} 2b_{n-2} x^n = 2x^2 \sum_{n \geq 6} b_{n-2} x^{n-2}$$

$$= 2x^2 (F(x) - b_0 - b_1 x - b_2 x^2 - b_3 x^3)$$

$$= 2x^2 (F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n \geq 6} 4b_{n-4}x^n &= 4x^4 \sum_{n \geq 6} b_{n-4}x^{n-4} = 4x^4(F(x) - b_0 - b_1x) \\ &= 4x^4(F(x) - 1 - 2x) \\ \sum_{n \geq 6} 8b_{n-6}x^n &= 8x^6 \sum_{n \geq 6} b_{n-6}x^{n-6} = 8x^6F(x) \end{aligned}$$

If we write these results on the two sides of (4), we find

$$\begin{aligned} F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3 - 16x^4 - 32x^5 \\ = 2x^2(F(x) - 1 - 2x - 4x^2 - 8x^3) + 4x^4(F(x) - 1 - 2x) \\ + 8x^6F(x). \end{aligned}$$

Which is trivial to solve for the unknown generating function $F(x)$ in the form

$$F(x) = \frac{1 + 2x + 2x^2 + 4x^3 + 4x^4 + 8x^5}{1 - 2x^2 - 4x^4 - 8x^6}. \tag{5}$$

Theorem 1. For $n \in \mathbb{N}$, let b_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ containing no three consecutive even integers. Then we have the following formulas for the subsequences of $(b_n)_{n \geq 0}$

$$b_{2n} = 2^n T_{n+2}, \tag{6}$$

$$b_{2n+1} = 2^{n+1} T_{n+2}. \tag{7}$$

where T_n is the n th Tribonacci number defined by (1).

Proof. If $A(x)$ is the generating function for even terms of the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$, then it is clear that $A(x) = \frac{1}{2}(F(x) + F(-x))$. Substituting (5) we get,

$$A(x) = \frac{1 + 2x^2 + 4x^4}{1 - 2x^2 - 4x^4 - 8x^6} \tag{8}$$

Substituting $u = 2x^2$ in (8) we have,

$$A(u) = \frac{1 + u + u^2}{1 - u - u^2 - u^3}.$$

The generation function of the Tribonacci sequence with initial conditions $T_0 = 1, T_1 = 1, T_2 = 2$ is

$$\begin{aligned} \frac{1}{1 - x - x^2 - x^3} \\ (1, 1, 2, 4, 7, 13, 24, \dots) \leftrightarrow \frac{1}{1 - x - x^2 - x^3} \end{aligned} \tag{9}$$

Now let's right- shift the sequence (9) by adding 1 and 2 leading zeros respectively:

$$(0, 1, 1, 2, 4, 7, 13, 24, \dots) \leftrightarrow \frac{x}{1 - x - x^2 - x^3}$$

$$(0, 0, 1, 1, 2, 4, 7, 13, 24, \dots) \leftrightarrow \frac{x^2}{1 - x - x^2 - x^3}$$

Let's try to obtain the generating function $A(x)$ using the generating functions of the Tribonacci sequences given in terms of initial conditions:

$$\begin{aligned} A(u) &= (1 + u + 2u^2 + 4u^3 + \dots + T_{n+1}u^n + \dots) \\ &\quad + (0 + u + u^2 + 2u^3 + \dots + T_n u^n + \dots) \\ &\quad + (0 + 0u + u^2 + u^3 + \dots + T_{n-1}u^n + \dots) \\ A(u) &= (1 + 2u + 4u^2 + 7u^3 + \dots + T_{n+2}u^n + \dots) \\ A(x) &= (1 + 2(2x^2) + 4(2x^2)^2 + 7(2x^2)^3 + \dots \\ &\quad + T_{n+2}(2x^2)^n + \dots) \\ A(x) &= 1 + 2.2x^2 + 4.2^2x^4 + 7.2^3x^6 + \dots \\ &\quad + T_{n+2}.2^n x^{2n} + \dots) \end{aligned}$$

Since $A(x)$ is the generating function for even terms of the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$, we have

$$b_{2n} = 2^n T_{n+2}$$

where T_n is the Tribonacci numbers with initial conditions;

$$T_0 = 0, T_1 = 1, T_2 = 1.$$

If $B(x)$ is the generating function for odd terms of the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$, then it is clear that $B(x) = \frac{1}{2}(F(x) - F(-x))$. Similarly using (5) and generating function method, for $n \geq 0$ we have

$$b_{2n+1} = 2^{n+1} T_{n+2}.$$

The proof is completed.

Corollary 1. For $n \in \mathbb{N}$, let a_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive even integers. Then we have the following closed form formula

$$b_n = 2^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} T_{\lfloor \frac{n+4}{2} \rfloor}.$$

where T_n is the n th Tribonacci number, $\lfloor n \rfloor$ is the floor of n .

Proof. Using Theorem 1, we can write piecewise defined sequence $(b_n)_{n \geq 0}$ as follows:

$$b_n = \begin{cases} 2^{\frac{n}{2}} T_{\frac{n+4}{2}}, & \text{if } n \text{ is even} \\ 2^{\frac{n+1}{2}} T_{\frac{n+3}{2}}, & \text{if } n \text{ is odd} \end{cases}$$

Then it is easy to see that

$$b_n = 2^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} T_{\lfloor \frac{n+4}{2} \rfloor}.$$

2.3. Obtaining Binet formula of the sequence with combinatorial approach

Let's try to find formulas respectively for the subsequences $(b_{2n})_{n \geq 0}$ and $(b_{2n-1})_{n \geq 1}$ of the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$. Let's consider the set, $M = \{1, 2, 3, \dots, 2n\}$. For every $n \in \mathbb{N}$, let a_{2n} be the number of subsets of S of the set $M = \{1, 2, 3, \dots, 2n\}$

containing no three consecutive even integers. First, we separate the set M into two disjoint subset $S_1 = \{1, 3, 5, \dots, 2n - 1\}$ and $S_2 = \{2, 4, 6, \dots, 2n\}$. First notice that, counting subsets from S_2 including no three consecutive even integers is equivalent to counting subsets from $\{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive integers. Hence there are T_{n+2} subsets where T_n is the Tribonacci numbers defined by (1). The number of subsets of S_1 include no three consecutive even integers is equal to 2^n since all elements of S_1 are odd integers. Using multiplication principle, the total number of subsets of M containing no three consecutive even integers is $2^n T_{n+2}$. Hence, we have

$$b_{2n} = 2^n T_{n+2}.$$

Considering the set, $M = \{1, 2, 3, \dots, 2n + 1\}$ and using the same counting technique we have

$$a_{2n+1} = 2^{n+1} T_{n+2}.$$

2.4. The combinatorial representation of the sequence

The explicit formula of Tribonacci sequence is given in [4] by the formula

$$T_n = \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n-1-i-j}{i}. \quad (10)$$

Using (6), (7) and (10) we have the combinatorial representation of the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$

$$b_{2n} = 2^n \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 0 \quad (11)$$

$$b_{2n+1} = 2^{n+1} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 0. \quad (12)$$

Writing combinatorial identity for 2^n and using (11) and (12) we have,

$$b_{2n} = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 0$$

$$b_{2n+1} = \sum_{k=0}^{n+1} \binom{n+1}{k} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \binom{n+1-i-j}{i}, \quad n \geq 0.$$

2.5. Limit of the ratios of consecutive terms of the sequence

It's well known that the limit of the ratio of two consecutive Fibonacci numbers is the Golden Ratio. A similar relationship occurs for the Tribonacci numbers.

Define the sequence $x_n = \frac{T_{n+1}}{T_n}$ for $n \geq 1$ and $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = L$ exist. Using (1) for $n \geq 3$ we have

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{T_{n-2} + T_{n-1} + T_n}{T_n} = \frac{T_{n-2}}{T_n} + \frac{T_{n-1}}{T_n} + 1, \\ x_n &= \frac{T_{n-1}}{T_{n-1}} \frac{T_{n-2}}{T_n} + \frac{T_{n-1}}{T_n} + 1, \\ x_n &= \frac{1}{\frac{T_{n-1}}{T_{n-2}} \frac{T_{n-1}}{T_n}} + \frac{1}{\frac{T_{n-1}}{T_n}} + 1, \\ x_n &= \frac{1}{x_{n-2} x_{n-1}} + \frac{1}{x_{n-1}} + 1. \end{aligned} \quad (13)$$

Taking the limit of both sides of (1), we obtain $L = \frac{1}{L^2} + \frac{1}{L} + 1$. Then $L^3 - L^2 - L - 1 = 0$. We know that the terms of values of T_n are real-valued and positive. From (13) we know that

$$L = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}$$

is the only real-valued root of the equation $L^3 - L^2 - L - 1 = 0$. Therefore,

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_{n+1}}{T_n} &= \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3} \\ &\approx 1.839286755. \end{aligned} \quad (14)$$

For any positive integer k and $\alpha = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}$ the following limit is obtained in [1].

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_{n+k}}{T_n} = \alpha^k \quad (15)$$

Corollary 2. For $n \in \mathbb{N}$, let b_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive even integers. Then we have the following results:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b_{2n+1}}{b_{2n}} = 2 \quad (16)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b_{2n}}{b_{2n-1}} = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}, \quad (17)$$

Proof. (16) is an immediate consequence of (6) and (7). (17) is implied by (6), (7) and (14).

Corollary 3. For $n \in \mathbb{N}$, let b_n be the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive even integers. Then we have the following limit:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b_{2n+2k}}{b_{2n+1}} = 2^{k-1} \alpha^k \quad (18)$$

where k is a positive integer and $\alpha = \frac{1 + \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}} + \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}}{3}$.

Proof. (18) is an immediate consequence of (6), (7) and (15).

3. Conclusions

In this paper, we first obtained recursive formula of the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$ which counts the number of subsets of S of the set $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$ including no three consecutive even integers. Then we had the closed form formula of the sequence $(b_n)_{n \geq 0}$ using the generating function method and combinatorial approach. The combinatorial representation and limit of the ratio of consecutive terms of the sequence are obtained.

References

- [1] Bueno, A. C. F. (2015). A note on generalized Tribonacci sequence, *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 21, 67-69.
- [2] Feinberg, M. (1963). Fibonacci–Tribonacci, *Fibonacci Quarterly*, 1, 71–74.
- [3] Pethe, S. (1988). Some Identities for Tribonacci sequences, *Fibonacci Q.*, 26, 144–151.
- [4] Ramirez, J. L. and Sirvent, V. F. (2014), Incomplete Tribonacci numbers and polynomials, *Journal of Integer Sequences*, 17 Article 14.4.2.
- [5] Shannon, A. (1977). Tribonacci numbers and Pascal’s pyramid, *Fibonacci Q.*, 15, 268–275.
- [6] Spickerman, W. and Joyner, R. N. Binets’s formula for the Recursive sequence of Order K, *Fibonacci Q.*, 22, 327–331.
- [7] Spickerman, W. (1982). Binet’s formula for the Tribonacci sequence, *Fibonacci Q.*, 20, (118-120).
- [8] Wilf, H. S. (1990). *Generatingfunctionology*, Academic Press.
- [9] Yalavigi, C. C. (1972), Properties of Tribonacci numbers, *Fibonacci Quarterly*, 10 231–246.
- [10] Yilmaz, N. and Taskara, N. (2014). Tribonacci and Tribonacci-Lucas Numbers via the Determinants of Special Matrices, *Appl. Math. Sci.*, 8(39), 1947–1955.



Atık Taşıma Yolu Olarak Kanalların Uygunluk Analizi (Endonezya'daki Makassar Şehri Örneği)

Muhammad Irfan^{1*}, Ramdan Pano²

^{1*} Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Antalya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4629-5943), muhifanfaizal@gmail.com

² University of Debrecen, Mühendislik Fakültesi, Kentsel Sistem Mühendisliği, Debrecen, Macaristan (ORCID: 0000-0002-9722-0186), ramdanpano@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009140)

ATIF/REFERENCE: Irfan, M. & Pano, R. (2021). Atık Taşıma Yolu Olarak Kanalların Uygunluk Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 557-561.

Öz

Makassar'daki gecekondu yerleşimleri şu anda bir sorun olarak görülüyor. Bölgedeki altyapı eksikliğinin yanı sıra nehir kıyısındaki durumu da köyün gecekondulaşmasına neden oluyor. Katı atık altyapısı, atık taşıma modlarına erişimi zorlaştıran sıkışık koşullar ve dar erişim noktaları ile ilgili sorunlardan biridir. Bu nedenle, gecekonduvardaki atık sorunlarının üstesinden gelebilecek ve zorluklara cevap verebilecek etkin ve verimli atık taşıma yenilikleri bulmak gerekiyor. Bu çalışma, kanalın Makassar şehrinde bir atık taşıma güzergahı olarak uygulanabilirliğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Gözlem ve literatür taraması yoluyla birincil veriler ve ikinci l veriler şeklinde elde edilen veriler. Bu çalışma, bir atık taşıma rotası olarak kanalın fizibilitesini analiz etmek için SWOT yöntemi yaklaşımını kullanmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, Makassar Şehrinde kanalların atık taşıma rotası olarak kullanılmasının fizibilitesinin analizinin sonuçlarıdır. Sonuçlar Yapılan SWOT analizine dayalı olarak, IFAS sonuçlarının Jongaya Kanalı'nın kanal üzerinden atık taşıma cılığı için yenilikçi planlama yapma gücüne sahip olduğunu gösterdiği, EFAS sonuçları ise böyle bir planlamayı gerçekleştirme fırsatının daha büyük olduğunu göstermektedir. tehditten daha. Bu araştırmanın, atık taşımacılığı için bir erişim noktası olarak kanalın yeni bir imajını oluşturması bekleniyor.

Anahtar Kelimeler: Kanal, Çöp Ulaşımı, Uygunluk Analizi, SWOT Analizi, Makassar Şehri.

Suitability Analysis of the Canal as A Waste Transportation Route (Case Study: Makassar City, Indonesia)

Abstract

Slum settlements in Makassar are currently seen as a problem. Due to the lack of infrastructure along the river banks, this condition leads the surrounding neighborhood to become slum spots. Solid waste infrastructure is one of the problems with congested conditions and narrow access points making it difficult to access by waste transport modes. Therefore, it is necessary to find effective and efficient waste transportation innovations, which are able to overcome waste problems and answer challenges in slums. This study aims to determine the feasibility of the canal as a waste transportation route in Makassar City. The data obtained in the form of primary data and secondary data through observation and literature review. This study uses the SWOT method approach to analyze the feasibility of the canal as a waste transportation route. The results of this study are analysis of the feasibility of using canals as a waste transportation route in Makassar City. Results Based on the SWOT analysis carried out, it was found that the IFAS results show the Jongaya Canal has the power to carry out innovative planning for waste transportation through the canal, while the EFAS outcomes show that the opportunity to carry out such planning is greater than the threat. This research is expected to create a new image of the canal as an access point for waste transportation.

Keywords: Canal, Waste Infrastructure, Suitability Anlysis, SWOT Analysis, Makassar City.

* Sorumlu Yazar: muhifanfaizal@gmail.com

1. Giriş

Turner'a (1972) göre Kampung, kamu tesislerinin yetersiz olduğu veya hiç bulunmadığı bir gecekondu bölgesidir, genellikle bu alana "gecekondu" veya "gecekondu" denir. Bu arada, Herlianto'ya (1986:42) göre Kampung-Kota, homojen bir nüfusa sahip hala güçlü geleneksel özelliklere sahip ve genellikle hala tarıma yönelik olan kırsal alanları gösteren bir ortamdır. Kampung-Kota aslında kent içinde kırdan kent yaşamına, tarımdan uzmanlığa, gelenekselden moderne, karşılıklı işbirliğinden bürokratik yapıya geçişlerin olduğu, kişisel ilişkilerin temel niteliklere dönüştüğü bir alandır.

Bu uzmanlardan bazılarının açıklamalarından Kampung Kota'nın, nüfusunun çoğunluğunun hala köy yaşamının (geleneksel) özelliklerini, gecekondu ortamının özelliklerini taşıdığı ve hala sanitasyon ve hijyen tesislerinden yoksun olduğu bir kentsel yerleşim olduğu sonucuna varılabilir. Sonuç olarak, Kampung Kota genellikle gecekondu yerleşimleriyle eşittir.

Kampung Biringkanal, Makassar Şehri, Rappocini Bölgesi, Maricaya Baru Köyü ve Rappocini Köyü'nde bulunan "Kampung Kota" özelliklerine sahip bir yerleşim yeridir. Biringkanal isminin kanalın biring/yan/kenarında bir anlamı vardır. Bunun nedeni, Biringkanal Köyü'nün, Makassar Şehrindeki büyük su akışlarından biri olan Jongaya Kanalı'nın bir toplama alanı olmasıdır.

Biringkanal Köyü'ndeki temel sorunlardan biri de atık sorunu, özellikle atık taşımacılığı. Dar yol ağı ve kalabalık ortam, Biringkanal Köyü'nü çöp kamyonları için ulaşılmaz kılıyor. Sonuç olarak, topluluk tarafından toplanan çöpler insanların evlerinin etrafında ve hatta kanal kıyılarında yığılıyor. Bu nedenle, atık sorunlarının üstesinden gelebilecek ve Kampung Kota'nın gecekondu olmak zorunda olmadığı sorununa cevap verebilecek etkin ve verimli atık taşıma yenilikleri bulmak gerekiyor.

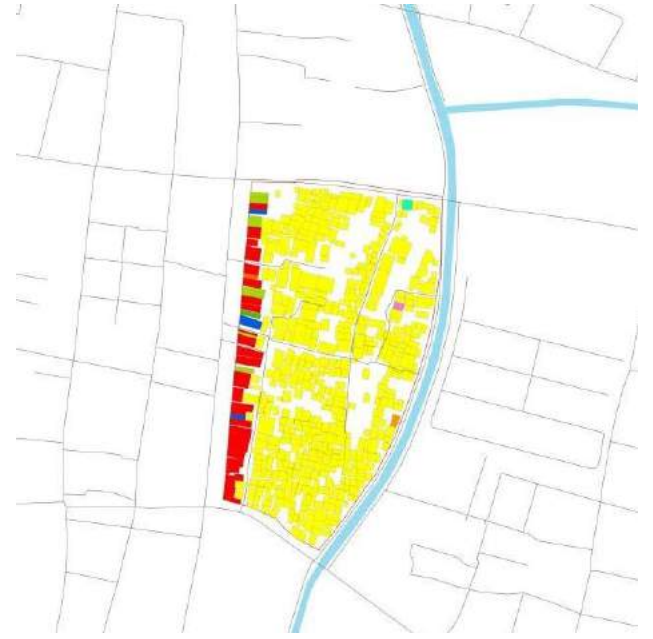
Araştırmacı, yukarıdaki açıklamaya dayanarak, doğru çözüm olarak Jongaya Kanalı'nı seçti. Kanal atık taşıma güzergahı olarak kullanılarak, Biringkanal Köyü'nden gelen çöplerin TSK'ya taşınması için yolun darlığı engel teşkil etmemektedir. Bu plan, Makassar Şehrindeki gecekondu yerleşimlerinin üstesinden gelmek için bir çözümdür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırma Kapsamı

Bu çalışma, gecekondu yerleşimlerinin, yani atık sorununun, özellikle atıkların taşınması sorununun çözümüne odaklanmaktadır. Ana odak, atık taşıma güzergahı olarak planlanan Jongaya Kanalı'dır.

Araştırma alanı genel olarak Güney Sulawesi, Makassar Şehri, Rappocini İlçesi, Maricaya Baru Köyü'nde bulunan Biringkanal Köyü ve Rappocini Köyü'ndeki kanal boyunca yer alan yerleşimlerdir.



Şekli 1. Çalışmanın Kapsamı
Kaynak: Yazar Belgesi, 2021

2.1. Veri Toplama Yöntemi

Bu çalışmada çeşitli kaynaklardan elde edilen birincil ve ikincil veriler şeklinde elde edilen veriler.

a. Kanalın genişliği, kanalın yüksekliği, kanalın yüksekliği ve kanal çevresinin tanımına ilişkin veriler, gözlem ve ölçüm yöntemleri, yani kanalı ölçmek için çalışma alanına doğrudan ziyaretler ve aynı zamanda kanalın ölçülmesi ile elde edilmiştir. Kampung Biringkanal'ın durumunu gözlemlenmektedir.

b. Araştırma ile ilgili diğer veriler kitap kaynaklarından, web sitelerinden, tezlerden ve bilimsel dergilerden literatür çalışmaları yoluyla elde edilir.

2.1. Veri Analiz Yöntemi

Bu çalışmada kullanılan veri analiz yöntemi, kanalın bir atık taşıma güzergahı olarak uygulanabilirliğini analiz etmek olup, bir SWOT analizi yapılarak, Strength (güç), Weakness (zayıflık), Opportunity (Fırsat), dan Treat (Tehdit). SWOT analizi, karşılaşılan tüm zayıflıkları ve tehditleri en aza indirirken, mevcut tüm güçlü yönleri ve açık fırsatları en üst düzeye çıkaracak yöntemleri belirlemek.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Kanal Fizibilite İçin Swot Analizi

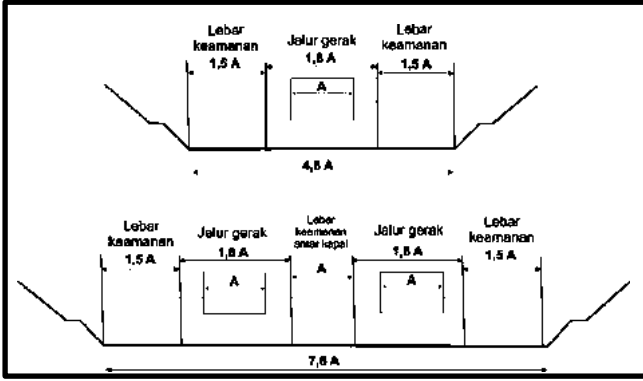
Kanal koşullarının SWOT analizi, Makassar Şehri, Biringkanal Köyü'nde var olan çevre sorunlarının üstesinden gelmek için doğru stratejiyi belirlemek için kullanılan yöntemlerden biridir. Kanal çevre koşullarının üstesinden gelmede strateji belirleme adımlarından biri, güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditlerin yorumlanması yoluyla iç ve dış faktörleri yorumlamaktır. SWOT yöntemini kullanan analiz, SWOT kadranındaki konumunu belirlemek için IFAS (Dahili Stratejik Faktörler Analizi Özeti) ve EFAS'ın (Dış Stratejik Faktörler Analizi Özeti) inceleme sürecinden geçer.

İç Faktörler

1. Atık Taşıma Yolu Olarak Kanalın Fizibilite

a) Kanal Genişliği Uygunluğu

Kanaldan çöp taşıyan gemilerin geçip geçmediğini tespit edebilmek için dikkat edilmesi gereken şeylerden biri kanalın genişliğidir. Bu analiz sayesinde genişliğine göre kullanıma uygun olan gemi tipini belirlemek mümkündür. Dahlan'a (2013) göre gemilerin geçmesine uygun kanal genişliğini belirlemek için ideal mesafenin hesaplanması aşağıdaki şekilde anlatılmaktadır:



Şekli 2. Ulaşım Güzergahı Olarak Yeterli Genişlikte Kanallar
Kaynak: Ahmad Dahlan, 2013

Bu ideal standartlara dayanarak, aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

1 Şeritli Gemi İle

Nehir Değer Genişliği = 4,8A

Kanalın minimum genişliği = 6 m; 6m = 4,8A; A = 1.25 m

Maksimum genişlik = 16 m

16m = 4,8A; A = 3.33 m

2 Şeritli Gemi İle

Minimum genişlik = 6 m; 6m = 7.6A; A = 0,8 m

Maksimum genişlik = 16 m; 16 m = 7.6A; A = 2,1 m

Tablo 1. Çöp Taşıma Gemisine Uygun Genişlik

No	Şerit Sayısı	Gemiye Uygun Genişlik
1	1 Şerit	1,25 m – 3,33 m
2	2 Şerit	0,8 m – 2,1 m

Kaynak: Yazarın Analiz Sonuçları, 2021

Tablo 2. Kanal Genişliğine Göre Kanal Uygunluğu

No	Gemi Adı	Genel Genişliği (m)	Makul Genişlik (m)		Kanal genişliği (m)	Ek Bilgi	
			1 şerit	2 şerit		1 şerit	2 şerit
1.	Kapal Cepel	1,7 m	8,16 m	12,92 m	6 - 16 m	MÜMKÜN	MÜMKÜN
2.	Kapal Jukung	2 m	9,5 m	15,2 m		MÜMKÜN	MÜMKÜN
3.	Kapal Katinting	0,7 m	3,6 m	5,32 m		LAYIK	LAYIK
4.	Kapal Jolloro	0,9 m	4,32 m	6,82 m		LAYIK	LAYIK

Kaynak: Yazarın Analiz Sonuçları, 2021

Yukarıdaki hesaplamalardan yola çıkılarak tek şeritte kullanılabilen gemi genişliğinin 1,25 – 3,33 m, iki sıra için ise 0,8 m – 2,1 m aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanıma uygun gemi türleri Katinting Gemileri ve Jolloro Gemileridir, bu nedenle atıkların taşınması için bu genişlikte çöp taşımak için kullanılabilir veya tasarlanabilir.

b) Kanal Derinlik Fizibilite

Kanal derinliği fizibilite analizi, birkaç değişkeni toplayarak kullanmak istediğiniz ulaşım modunun türüne göre ideal kanal derinliği miktarını belirleme yöntemidir. Genel olarak nakliye şeritlerinin derinliği aşağıdaki formül kullanılarak belirlenebilir:

$$H = d + G + R$$

H = Oluk derinliği (metre)

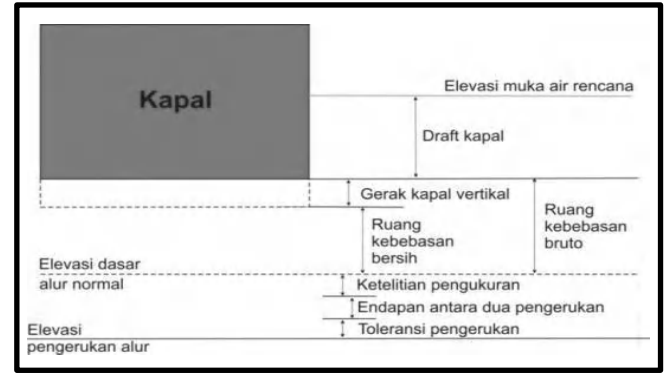
d = gemi draftı (metre)

G = geminin dalgalar ve çömelmeler nedeniyle dikey hareketi (m)

R = için net özgülük alanı:

Havuz, gemi draftının %7-15'i

Gemi draftının %10-15'i kadar akış



Şekli 3. Kanal Yüksekliği
Kaynak: Ahmad Dahlan, 2013

Tablo 3. Gemi Türüne Göre Kanal Uygunluğu

No	Gemi Adı	Gemi Taşığı (m)	Temiz Özgülük Odası (R)	İyi Derinlik (m)	Kanal Derinliği (m)	Ek
1.	Kapal Speed	0,6 m	0,06-0,09 m	0,89 m	2 - 3,5 m	Yapabilmek
2.	Kapal Jukung	0,8 m	0,08-0,12 m	1,12 m		Yapabilmek
3.	Kapal Katinting	0,4 m	0,03-0,045 m	0,66 m	2 - 3,5 m	Yapabilmek
4.	Kapal Jolloro	0,4 m	0,04-0,06 m	0,66 m		Yapabilmek

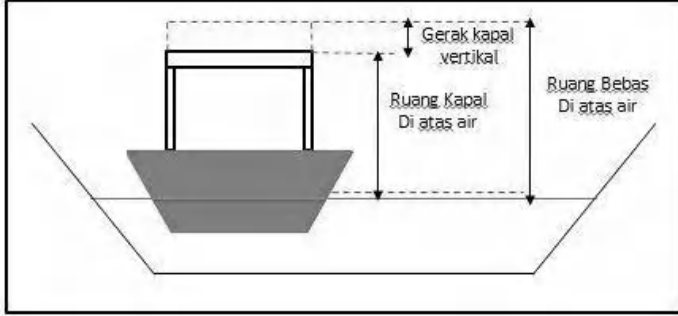
Kaynak: Yazarın Analiz Sonuçları, 2021

Yukarıdaki tablodan, Makassar kentindeki Jongaya kanalının derinliğinin sürat tekneleri, jukung tekneleri, katinting gemileri ve jolloro gemileri tarafından geçilebileceği sonucuna varılabilir. Ancak kanalın derinliği ile ilgili bir diğer sorun, özellikle kanalın yerleşim yerinin tam karşısında olan kısmında, kanal muayene yolu ile sınırlandırılmadan oldukça yüksek sedimantasyon oluşmasıdır.

c) Köprü Altındaki Boş Alan Fizibilite Analiz

Köprü'nün altındaki boş alanın fizibilite analizi, bu çalışmanın lokasyonu boyunca çok sayıda köprü bulunması nedeniyle ölçülmesi gereken değişkenlerden biridir, bu yöntem köprü ile su seviyesi arasındaki mesafeyi ölçerek gerçekleştirilmektedir. deniz suyunun en yüksek gelgit anında

kanal, daha sonra dikey hareket alanı ile karşılaştırarak, su üzerinde gemi. Daha fazla ayrıntı için aşağıdaki resme ve formüle bakın. Köprü'nün altındaki boş alanın fizibilite analizi, bu çalışmanın lokasyonu boyunca çok sayıda köprü bulunması nedeniyle ölçülmesi gereken değişkenlerden biridir, bu yöntem köprü ile su seviyesi arasındaki mesafeyi ölçerek gerçekleştirilmektedir. deniz suyunun en yüksek gelgit anında kanal, daha sonra dikey hareket alanı ile karşılaştırarak, su üzerinde gemi. Daha fazla ayrıntı için aşağıdaki resme ve formüle bakın.



Şekli 4. Su Üzerindeki Gemilerin Boş Alanı.
Kaynak : Ahmad Dahlan, 2013

Verilen: Dalga ve çömelme nedeniyle Geminin Dikey Hareketi = 0,2m

Tablo 4. Köprü Altı Boş Alan Fizibilite Analizi

No	Gemi Adı	Suda Uzunluğ Gemisi (m)	Geminin Su Üzerinde Serbest Hareketi (m)	Köprü'nün Altındaki Boş Alan (m)	Ek
1.	Kapal Speed	1,3 m	1,5 m	0,8 - 1,4 m	Mümkün değildir
2.	Kapal Jukung	2,2 m	2,4 m		Mümkün değildir
3.	Kapal Katinting	0,4 m	0,6 m		Mümkün
4.	Kapal Jolloro	0,7 m	0,9 m		Mümkün değildir

Kaynak: Yazarın Analiz Sonuçları, 2021

Makassar Şehri, Jongaya Kanalı üzerindeki köprü'nün altındaki boş alana kıyasla geminin su üzerindeki boş alanının analizine dayanarak, geçmeye uygun gemiler katinting gemileri veya üzerinde yaklaşık 0,4 m boş alana sahip çöp gemileridir. su, gemiler ise mevcut köprüyü geçemedikleri için diğerleri mümkün değildir. Mevcut köprü'nün yüksekliğini artırarak kanaldaki köprü'nün altındaki boş alanı artırmak da dahil olmak üzere, bu sorunun üstesinden gelebilecek birkaç önlemin alınması gerekir, böylece gelgitte su yüzeyi ile köprü arasındaki mesafe daha iyi hale gelir. diğer gemiler tarafından göz ardı edilebilmesi için daha büyük. Jolloro gemilerinde 1 metreye, Speed gemilerinde 1,6 metreye, jukung gemilerinde ise 2,5 metreye çıkarılmıştır.

Tablo 5. İç Faktör Ağırlıklandırma ve Puanlama

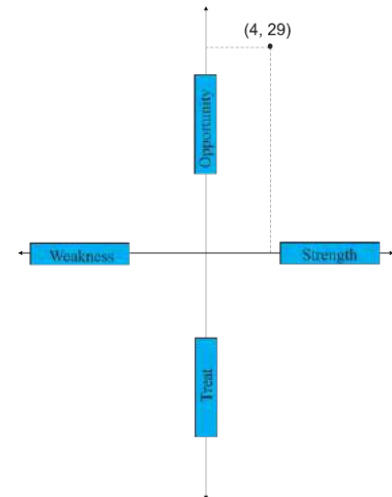
No	Derecelendirme Parametreleri	Strength			Weakness		
		Puan	Ağırlık	Toplam	Puan	Ağırlık	Toplam
1	Gemilerin geçebileceği kanal genişliği	8	5	40			
2	Yeterli kanal derinliği	8	5	40			
3	Birkaç noktada bir köprü'nün varlığı, böylece gemideki boş alanı azaltıyor				5	5	25
4	Sedimentasyon %20'ye ulaşır				8	3	24
5	Atıklardan Kanal Kirliliği				6	5	30
6	IPAL Altyapısı varlığı	5	3	15			
7	Kanalın akışında Yabani Otlar ve Çöpler varlığı				4	3	12
Total		95			91		
S - W = 95 - 91 = 4							

Kaynak: Yazarın analizinin sonuçları, 2021

Tablo 6. Dış Faktör Ağırlıklandırma ve Puanlama

No	Derecelendirme Parametreleri	Opportunity			Treat		
		Puan	Ağırlık	Toplam	Puan	Ağırlık	Toplam
1	Temizliğin korunmasının önemi konusunda artan kamuoyu bilinci	8	3	24			
2	Makassarta Tıdak Rantasa politikasının programlarından biri olmak mümkün	9	5	45			
3	Sel olasılığı				7	4	28
4	Öngörülemez işletme maliyetleri				6	2	12
Total		69			40		
O - T = 69 - 40 = 29							

Kaynak: Yazarın analizinin sonuçları, 2021



Şekli 5. SWOT Analiz Eğrisi
Kaynak: Yazarın analizinin sonuçları, 2021

SWOT analizine dayanarak, IFAS sonuçlarının Biringkanal Köyü'nün kanal yoluyla atık taşımacılığı için yenilikçi planlama yapma gücüne sahip olduğunu gösterdiği, EFAS sonuçlarının ise böyle bir planlamayı gerçekleştirme fırsatının tehditten daha büyük olduğunu gösterdiği tespit edildi. Bu nedenle atılması gereken adım, ilerici bir stratejidir, yani sahip oldukları güçlü yönleri ve fırsatları desteklemek için sağlam stratejiler uygulayarak. Stratejik adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Biringkanal Köyü'nde etkin ve verimli bir şekilde uygulanabilmesi için sağlam bir konsept şeklinde bir plan yapmaktadır.
2. Planlamayı destekleme ve uygulamada toplum katılımını artırmaktadır.

4. Sonuç

Yenilikçi Atık Taşıma Sistemi: Kanalların Makassar Şehri, Biringkanal Köyü'nde Atık Taşıma Yolu Olarak Kullanılması tarafından yapılan analizin sonuçlarına dayanarak, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Analiz sonuçlarına göre atık taşıma güzergahı olarak kanalın fizibilitesinin belirlenmesinde dikkate alınan faktörler; kullanılabilir geminin genişliği, kanalın derinliği, geminin su üzerindeki boş alanı, ve kanalın çevresel koşulları.

2. SWOT analizine dayalı olarak, IFAS sonuçlarının Biringkanal Köyü'nün kanal yoluyla atık taşımacılığı için yenilikçi planlama yapma gücüne sahip olduğunu gösterdiği, EFAS sonuçlarının ise bu tür bir planlamayı gerçekleştirme fırsatının öncekinden daha fazla olduğunu gösterdiği bulunmuştur. tehdit. Bu nedenle atılması gereken adım, ilerici bir stratejidir, yani sahip oldukları güçlü yönleri ve fırsatları desteklemek için sağlam stratejiler uygulayarak.

Kaynakça

- Dahlan, Ahmad. (2013). Makassar Şehrinde Jongaya ve Panampu Kanallarının Su Taşımacılığı Olarak Kullanımına İlişkin Ön Çalışma. Hasanuddin Üniversitesi Öğrenci Bitirme Projesi Dergisi.
- Kodoatie, Robert. (2005). Altyapı Yönetimine Giriş. Yogyakarta: Öğrenci Kütüphanesi.
- Komala, Sri Puti et al. (2012). Padang Şehri Atık Taşıma Sisteminin Verimliliğinin Analizi. Andalas Üniversitesi.
- Setyaningrum, Endang. (2004). İsveç'te Atık Yönetimi Dersleri. Praswil Departmanı Metropolitan Kent Müdürlüğü.
- Sihombing, William Iskandar. (2004). Kuzey Sumatra Üniversitesi. Medan Şehrindeki Atık Taşımacılığının Analizi (Örnek Olay: Medan Şehri Bölgesi)
- Damanhuri, Enri. (2010). Atık Yönetimi Üzerine Diktat Dersi. Bandung Teknoloji Enstitüsü.
- Ambariski, Prisma Putri. (2016). On Kasım Teknoloji Enstitüsü. Batı Surabaya'da Taşıma Aracı Kapasitesi ve Atık Konteyner Koşullarına Dayalı Çöp Taşıma Sistemi. ITS Mühendislik Dergisi Cilt. 5, Hayır. 2. 2016
- Suprajaka. Tangerang Şehrinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanılarak Atık Taşıma Modelinin Optimizasyonu Çalışması. Şehir ve Bölge Planlama Mühendisliği, Esa Unggul Üniversitesi, Jakarta.

_____.(2015). Şehir ve Bölge Planlamada SWOT Analizi. 20 Ağustos 2021'de (<http://www.radarplanologi.com/2015/11/analysis-swot-dalam-planning-region-dan-kota.html>) adresinden erişildi.



A deep learning approach for detecting pneumonia in chest X-rays

M. Emin Sahin¹, Hasan Ulutas^{1*}, Esra Yuçe¹

^{1*} Yozgat University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Yozgat, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7729-990X), emin.sahin@bozok.edu.tr

^{1*} Yozgat University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Yozgat, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3922-934X), hasan.ulutas@bozok.edu.tr

¹ Yozgat University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Yozgat, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9522-8352), 16008117051@ogr.bozok.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009434)

ATIF/REFERENCE: Sahin, M. E., Ulutas, H. & Yuçe, E. (2021). A deep learning approach for detecting pneumonia in chest X-rays. *European Journal of Science and Technology*, (28), 562-567.

Abstract

Pneumonia causes the death of many children every year and constitutes a certain proportion of the world population. Chest X-rays are primarily used to diagnose this disease, but even for a trained radiologist, chest X-rays are not easy to interpret. In this study, a model for pneumonia detection trained on digital chest X-ray images is presented to assist radiologists in their decision-making processes. The study is carried out on the Python platform by using deep learning models, which have been widely preferred recently. In this study, a deep learning framework for pneumonia classification with four different CNN models is proposed. Three of them are pre-trained models, MobileNet, ResNet and AlexNet and the other is the recommended CNN Model. These models are evaluated by comparing them with each other according to their performance. The experimental performance of the proposed deep learning framework is evaluated on the basis of precision, recall and F1-score. The models achieved accuracy values of 93%, 97%, 97% and 86%, respectively. It is clear that the proposed ResNet model achieves the highest results compared to the others.

Keywords: CNN, Deep Learning, Python, Pneumonia, X-ray

Göğüs röntgenlerinde pnömoniye tespit etmek için derin öğrenme yaklaşımı

Öz

Pnömoni her yıl çok sayıda çocuğun ölümüne neden olmakta ve dünya nüfusunun belli bir oranını oluşturmaktadır. Göğüs röntgenleri öncelikle bu hastalığı teşhis etmek için kullanılır, ancak eğitimli bir radyolog için bile göğüs röntgenlerini yorumlamak kolay değildir. Bu çalışmada, radyologlara karar verme süreçlerinde yardımcı olmak için dijital göğüs röntgeni görüntüleri üzerinde eğitilmiş bir pnömoni tespiti modeli sunulmaktadır. Çalışma, Python platformunda son zamanlarda yaygın olarak tercih edilen derin öğrenme modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, dört farklı CNN modeli ile pnömoni sınıflandırması için bir derin öğrenme çerçevesi önerilmiştir. Bunlardan üçü önceden eğitilmiş modeller, MobileNet, ResNet ve AlexNet, diğeri ise önerilen CNN modelidir. Bu modeller performanslarına göre birbirleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Önerilen derin öğrenme çerçevesinin deneysel performansı, kesinlik, duyarlılık ve F1-puanı temelinde değerlendirilir. Modeller sırasıyla %93, %97, %97 ve %86 doğruluk değerlerine ulaşmıştır. Önerilen ResNet modelinin diğelerine kıyasla en yüksek sonuçları elde ettiği açıktır.

Anahtar Kelimeler: ANN, Derin Öğrenme, Python, Zatürre, X-Ray

* Corresponding Author: hasan.ulutas@bozok.edu.tr

1. Introduction

Infectious diseases are one of the most important factors that threaten human health from past to present. Pneumonia comes first among the infectious diseases [1]. Pneumonia is defined as lung inflammation that occurs as a result of the effects of living things such as viruses and bacteria on the microscopic air sacs [2], [3]. Every year, approximately 7% of the world population is affected by pneumonia, and approximately 4 million of these affected patients die [8]. Early diagnosis is very important in such diseases [4]. Typical symptoms include chest pain, shortness of breath, cough etc. takes place. Diagnostic tools include sputum culture and chest X-ray images [5].

Artificial intelligence, which has become popular in recent years, tries to make computers more useful by trying to understand the nature of human intelligence. Machine learning and deep learning, which are sub-branches of artificial intelligence used in many fields, also promise to help experts in the early diagnosis of diseases. CNN-based deep networks have been developed differently by researchers and these networks have been applied to classification, segmentation, object detection and localization, especially in computer vision [6]–[8]. Also, besides computer vision problems, CNNs are used for breast cancer detection [9], brain tumour segmentation [10], Alzheimer's disease diagnosis, skin lesion classification [11], [12] etc. Successful results have been observed by using it in the solution of medical problems.

The following tests can be performed for the diagnosis of pneumonia: Chest X-ray, Lung CT, Chest ultrasound, Lung needle biopsy Chest MRI [5]. Currently, a chest X-ray is one of the best methods for detecting pneumonia [6]. X-ray imaging is preferred over CT imaging, as CT imaging typically takes significantly more time than X-ray imaging, and many undeveloped areas lack adequate high-quality CT scanners. In contrast, X-rays are the most widely available diagnostic imaging technique. When the studies in the literature are examined, there are many studies, especially in the detection of pneumonia.

In the study given in [13], Kieu et al. used multiple CNN constructs to detect abnormal (abnormal) rib cage images. In this method, a rib cage image is divided into three parts as right, left and whole and used as inputs for different ESA models. Then the result of the CNN models is combined with the Fusion method. The applicability of the proposed multiple CNN method is shown with the result of 96% obtained as a result of the study.

In [14], Ivo M. Baltruschat et al., performed the classification of 14 different diseases in 112120 lung X-ray images provided by The National Institutes of Health (NIH) Clinical Center with different hyper parameters of the ResNet50 and Resnet38 models. ResNet38 and ResNet101 also conducted similar studies. Baltruschat has shown that ResNet models get the best results with ResNet38.

In [15], O'Quinn et al. They carried out their studies using 5659 images in DICOM format to detect pneumonia disease. In this study, 70% of the dataset is used for training and the rest for testing. By using the AlexNet deep learning network in learning transfer, 76% recognition success is achieved in this method. In [16], Wang et al. developed a deep CNN method and presented a study for the detection of 14 thoracic cage diseases called Thorax-Net. In this method, it is included in the classification and attention section. A result has been obtained by using the outputs

of these two sections with Thorax-Net. They have shown that with the Thorax-net architecture, the area below the average ROC per class reached 0.7876.

In [17], Hammoudi et al. They have worked on deep learning models that could be used to diagnose pneumonia using radiographic images to assist healthcare professionals. ResNet34, ResNet50 and DenseNet169 have used different deep learning methods (Inception ResNetV2-RNN) such as VGG-19 and dual usage model. They attempted to classify X-ray images of the rib cage as viral pneumonia, bacterial pneumonia, and normal, and obtained different results for each model used.

The aim of this study is to provide radiologists and medical professionals with a low-cost software tool to review their interpretation of the disease in the diagnostic process and identify other potential findings that may be overlooked, using deep learning methods that have achieved great success in medical image classification of pneumonia, a disease for which early diagnosis is very important. Also, in many developing countries, people's access to radiologists is limited due to the high cost. With this software, healthcare professionals will be able to help interpret X-ray images. For this purpose, rib cage X-ray images shared on Kaggle, a community of online data scientists and machine learning practitioners, are used. In this dataset, there are a total of 5840 X-ray images, consisting of two classes, Normal and Pneumonia.

In this article, a study about the deep learning methods used in the field of health and the classification of pneumonia, which is the aim of this study in the literature, is presented.

2. Material and Method

2.1. Dataset

X-rays in datasets are labeled by their respective clinicians. The dimensions of the tagged view counts of the data set are specified in the method section. In this study, the publicly available Chest X-ray Images (Pneumonia) dataset is used. The dataset is compiled into two subfolders containing pneumonia and normal chest X-ray images, respectively. The total number of data is 5840, with 1575 normal and 4265 pneumonia cases. In Figure 1, there are images of pneumonia and normal classes from the database.

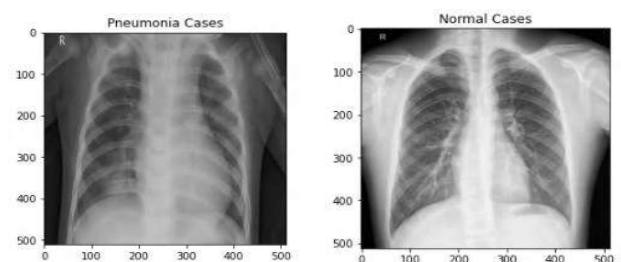


Fig. 1. Sample images from the dataset

For this study, a dataset containing X-ray images of the thorax shared on the Kaggle platform is used. Among these images, low quality or unreadable ones are eliminated, and the remaining images are rated by three experts in order to be used in artificial intelligence studies. Example X-ray images of pneumonia disease are shown in Figure 1.

2.2. Deep Learning

The term deep learning refers to multi-layer artificial neural networks (ANNs). Recently, deep learning has become one of the most powerful tools in the literature because it can process large amounts of data [18]. Convolutional Neural Networks (CNN) are one of the most well-known deep learning networks. Significant successes have been achieved in studies such as voice recognition, image processing and pattern recognition using CNN. CNN is a deep neural network in which feature extraction is performed by applying the convolution operation to at least one of its layers. One of the reasons why CNN is frequently used in studies is that it handles the features in the image independently of the location.

2.3. Convolutional Neural Network

In this section, some of the most well-known CNN models used in similar studies are discussed in order to compare the results of the study.

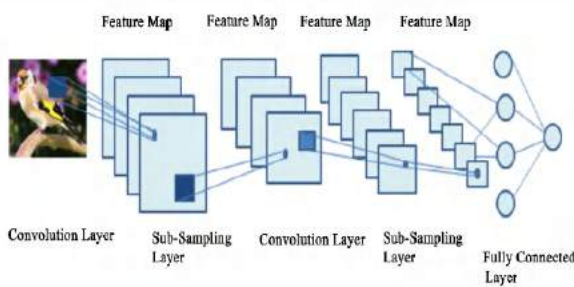


Fig. 2. Convolutional neural network structure

2.3.1. Convolutional Neural Network Layers

Input layer

The input layer forms the first layer of the CNN. In the input layer, the input data is given raw to the network. In order for the computer to understand the input (image), the pixels of the input are converted into numerical data. The size of the image in the input layer in a used network is important. Large input sizes will cause a lot of memory usage and increase the number of parameters, which may slow down the network, but may yield better results as more attributes can be extracted.

In addition, since the number of parameters will decrease with small input sizes, the network may give faster results, but the performance of the network may decrease as the feature extraction is less [19].

Convolution layer

The convolution layer is also known as the feature extraction layer because the features of the image supplied to the network are extracted in this layer. The feature map of the image is created by using various filters (kernel) in the convolution layer [3]. The filters used can be of different sizes such as 2×2 , 3×3 , 5×5 . With these filters, the convolution process is applied to the image. The coefficients of the filters change with each learning iteration in the training set during the training of the CNNs to determine which regions of the data are important in determining the attributes of the network [19].

The pooling layer

The pooling or pooling layer is generally used in CNNs to reduce the number of parameters and the computational load. It reduces the input size for the next convolution layer without

affecting the depth. That is, while the height and width values of the input data decrease after pooling, the depth, that is, the number of channels, does not change. In general, two different pooling layers can be mentioned.

Activation layer

The activation layer comes after the convolution layer. Generally, this non-linear layer is used to adjust and limit the output produced [18]. The purpose of use of this layer is to reduce the negative values in the linear network formed after the convolution layer to zero, to put the network into a non-linear form and to enable the network to learn faster. It is also called the activation function. There are many different activation functions such as tanh, sigmoid, ELU, but ReLU is the most widely used.

Fully connected layer

After the successive layers of convolution, ReLU, and pooling in an CNN comes the full link layer. For the full link layer, the feature map is converted to a 1D feature vector, this is called flattening [20]. This layer is called the full link layer because it is connected to all areas of the previous layer and it is shown in Figure 3. The full link layer is used to classify images in different categories.

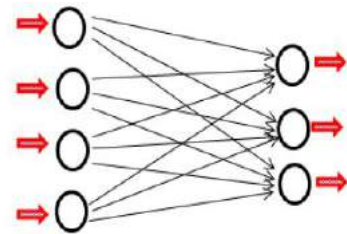


Fig. 3. Fully Connected Layer

2.4 Convolutional Neural Network Models

In this section, some of the most well-known CNN models used in similar studies are discussed in order to compare the results of the studies. These architectures are deep learning models delivered with pre-trained weights on the ImageNet dataset. These models can be used for operations such as prediction, feature extraction and classification. A pre-trained image classification model that has learned to extract powerful and informative features from images can be taken and used as a starting point for learning a new task. Applications are made for three pre-trained models to be used for image classification. In this part, Alexnet, ResNet50 Architecture and MobileNet architecture are used.

Table 1. Pre-Trained Networks and Some Features

Number	Network	Deep	Parameter (million)	Input Image Size
1	MobileNetv2	53	3.5	224 x 224
2	ResNet50	50	25.6	224 x 224
3	AlexNet	8	61.0	224 x 224

Table 2. Parameters

		Predicted	
		Negative	Positive
Actual Cases	Negative	True Negatives (tn)	True Positives (tp)
	Positive	False Negatives (fn)	False Positives (fp)

The accuracy given in Equation 1 is a measure of how well the learning model is [21];

$$\text{Accuracy, } ACC = \frac{tn+tp}{tn+tp+fn+fp} \quad (1)$$

Equation 2, True Positive Rate (Recall, (TPR)) is a measure that defines how many of the positive predictions are true [21].

$$\text{Recall, } TPR = \frac{tp}{tp+fp} \quad (2)$$

Equation 3, Precision positive predictive value (PPV) is a measure that defines how many of the positive predictions are correct [21].

$$\text{Precision, } PPV = \frac{tp}{tp+fn} \quad (3)$$

3. Results and Discussion

Google Colaboratory workspace is used to diagnose pneumonia from X-ray images. Colab is a free Python development environment based on the Jupyter notebook and cloud environment. Classification for pneumonia diagnosis from X-ray images is performed using the Python programming language. Python is a programming language with both practical and easy documentation used by many researchers working with machine learning and data science. Many libraries have been developed thanks to the work in the field of deep learning. These libraries provide convenience for the easy implementation of algorithms. Libraries used within the scope of the study are NumPy and Matplotlib.

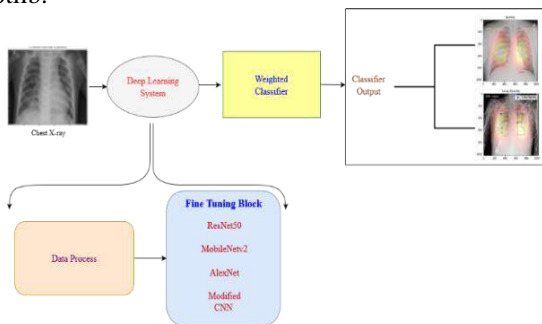


Fig. 4. Proposed system block diagram [22]

3.1. Datasets and their application to the model

CNN models take inputs of fixed size and calculate parameters accordingly. After reading the X-ray images in the dataset, they are resized to 512 x 512 to minimize the loss of details in the images. For training and testing, the data set is randomly divided into 80% (training) and 20% (testing). Of the total of 5840 data sets, 4672 are used for training and 1168 for testing.

3.2. Network Architecture

In this section, the proposed CNN model is classified with the X-ray dataset and its performance is observed. Machine Learning

algorithms create a mathematical model that associates the data in the data set with its labels. Thus, when an image is given to the model, it tries to determine which class the image belongs to. The model to be recommended is Keras' Sequential model. The training of the CNN model consisting of Sequential Convolution (CONV2D) and MaxPooling layers is carried out with the X-ray dataset. The layers of the proposed model are listed below.

```

Model: "sequential"
-----
Layer (type)                Output Shape              Param #
-----
conv2d (Conv2D)              (None, 510, 510, 32)     896
conv2d_1 (Conv2D)            (None, 508, 508, 64)    18496
max_pooling2d (MaxPooling2D) (None, 254, 254, 64)     0
conv2d_2 (Conv2D)            (None, 252, 252, 128)   73856
dropout (Dropout)           (None, 252, 252, 128)    0
conv2d_3 (Conv2D)            (None, 250, 250, 256)   295168
max_pooling2d_1 (MaxPooling2 (None, 125, 125, 256)    0
flatten (Flatten)            (None, 4000000)          0
dense (Dense)                 (None, 128)              512000128
dropout_1 (Dropout)          (None, 128)              0
dense_1 (Dense)               (None, 2)                258
-----
Total params: 512,388,802
Trainable params: 512,388,802
Non-trainable params: 0
    
```

Fig. 5. The used Model

The 'Adam' algorithm, which is thought to give good results in image data training, is used as the optimization algorithm, which has a great effect on model performance. The initial learning rate is very important for education. If it is selected large, it may cause it to skip the global minimum, or if it is selected too small, it may get stuck in local minimums and cannot reach the global minimum. Considering these issues, the learning rate is determined as 0.0001. The performance metric accuracy is selected.

In the designed model, the training data is trained 10 times (epoch) in 30 mini-batches (small groups). Then, testing is carried out in 15 mini-batches with the trained model test data. In the test of the model, an accuracy rate of 93% is obtained. The estimated results in classification are given in Figure 6 in the confusion matrix.

	Pneumonia	Normal
Pneumonia	788	65
Normal	20	295

Fig. 6. The confusion matrix of the model

The difference in the number of data between the two classes in the training data may affect the model performance. The class with more numbers can suppress the other class. In the training data we used in the study, the normal class consists of 1260 and pneumonia class 3412 samples. In this case, it is not appropriate to only take accuracy as a performance metric. Apart from accuracy, performance metrics such as precision, recall, and F1-

score should also be considered. These metrics are included in the classification report given in Figure 7.

	precision	recall	f1-score	support
Pneumonia Cases	0.98	0.92	0.95	853
Normal Cases	0.82	0.94	0.87	315
accuracy			0.93	1168
macro avg	0.90	0.93	0.91	1168
weighted avg	0.93	0.93	0.93	1168

Fig. 7. Model's classification report

	precision	recall	f1-score	support
Pneumonia Cases	0.97	0.99	0.98	853
Normal Cases	0.97	0.92	0.95	315
accuracy			0.97	1168
macro avg	0.97	0.96	0.96	1168
weighted avg	0.97	0.97	0.97	1168

Karışıklık Matrisi		
	Pneumonia Cases	Normal Cases
Pneumonia Cases	845	8
Normal Cases	24	291

Fig. 8. Classification Report and Confusion Matrix for MobileNet model

	precision	recall	f1-score	support
Pneumonia Cases	0.98	0.99	0.98	853
Normal Cases	0.96	0.94	0.95	315
accuracy			0.97	1168
macro avg	0.97	0.96	0.97	1168
weighted avg	0.97	0.97	0.97	1168

Karışıklık Matrisi		
	Pneumonia Cases	Normal Cases
Pneumonia Cases	842	11
Normal Cases	20	295

Fig. 9. Classification Report and Confusion Matrix for the ResNe50t model

	precision	recall	f1-score	support
Pneumonia Cases	0.99	0.82	0.90	853
Normal Cases	0.67	0.97	0.79	315
accuracy			0.86	1168
macro avg	0.83	0.90	0.85	1168
weighted avg	0.90	0.86	0.87	1168

Karışıklık Matrisi		
	Pneumonia Cases	Normal Cases
Pneumonia Cases	703	150
Normal Cases	10	305

Fig. 10. Classification Report and Confusion Matrix of AlexNet model

The data set is also trained with pre-trained CNN models and their performance is observed. The pre-trained MobileNet, ResNet and AlexNet models are trained with the preprocessed dataset, respectively. According to classification report, 99%,
e-ISSN: 2148-2683

99% and 96% training accuracy is obtained from the models trained 10 times in 35 mini-batches, respectively. Trained models are tested with test data in 35 mini-batches. In the testing of the models, 97%, 97% and 86% accuracy rates are obtained. The predicted results in classification are given in each model's own confusion matrix and classification report given below Figures 8, 9 and 10.

4. Conclusions and Recommendations

The presence of specialist radiologists is the most important requirement to accurately diagnose pneumonia disease. This study primarily aims to improve medical competence in areas where radiologists are still limited and to facilitate early diagnosis of pneumonia in order to prevent negative consequences (death etc.). Developing better healthcare. At this point, different models such as the proposed CNN model and pre-trained MobileNet, ResNet and AlexNet are used to evaluate chest images of pneumonia patients. The use of these models on X-ray pictures, in particular, has generated promising results. Such a finding is particularly important in that X-ray images are easily accessible and cost-effective. In this paper, four distinct CNN models are proposed as part of a deep learning framework for pneumonia classification. Three of them are pre-trained models, MobileNet, ResNet and AlexNet and the other is the recommended CNN Model. These models are evaluated by comparing them with each other according to their performance. The experimental performance of the proposed deep learning framework is evaluated on the basis of precision, recall and f1-score. The models achieved accuracy values of 93%, 97%, 97% and 86%, respectively. It is clear that the used ResNet model achieves the highest results compared to the others.

5. Acknowledge

References

- [1] Akter, S., & Shamsuzzaman, J. F. (2015). Community acquired pneumonia. *Int J Respir Pulm Med*, 2, 2.
- [2] McLuckie, A. (Ed.). (2009). *Respiratory disease and its management*. Springer Science & Business Media.
- [3] Pommerville, J. C. (2012). *Alcama's Fundamentals of Microbiology: Body systems edition*. Jones & Bartlett Publishers.
- [4] Summah, H., & Qu, J. M. (2009). Biomarkers: a definite plus in pneumonia. *Mediators of inflammation*, 2009.
- [5] D. Berliner, N. Schneider, T. Welte, and J. Bauersachs, "The differential diagnosis of dyspnoea," *Dtsch. Arztebl. Int.*, vol. 113, no. 49, pp. 834–844, 2016.
- [6] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- [7] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015, October). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention* (pp. 234-241). Springer, Cham.
- [8] Ezzy, H., Charter, M., Bonfante, A., & Brook, A. (2021). How the Small Object Detection via Machine Learning and UAS-Based Remote-Sensing Imagery Can Support the

- Achievement of SDG2: A Case Study of Vole Burrows. *Remote Sensing*, 13(16), 3191.
- [9] Ragab, D. A., Sharkas, M., Marshall, S., & Ren, J. (2019). Breast cancer detection using deep convolutional neural networks and support vector machines. *PeerJ*, 7, e6201.
- [10] Pereira, S., Pinto, A., Alves, V., & Silva, C. A. (2016). Brain tumor segmentation using convolutional neural networks in MRI images. *IEEE transactions on medical imaging*, 35(5), 1240-1251.
- [11] Öztürk, Ş., & Özkaya, U. (2020). Skin lesion segmentation with improved convolutional neural network. *Journal of digital imaging*, 33(4), 958-970.
- [12] Ayan, E., & Ünver, H. M. (2018, April). Data augmentation importance for classification of skin lesions via deep learning. In 2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT) (pp. 1-4). IEEE.
- [13] Kieu, P. N., Tran, H. S., Le, T. H., Le, T., & Nguyen, T. T. (2018, November). Applying Multi-CNNs model for detecting abnormal problem on chest x-ray images. In 2018 10th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE) (pp. 300-305). IEEE.
- [14] Baltruschat, I. M., Nickisch, H., Grass, M., Knopp, T., & Saalbach, A. (2019). Comparison of deep learning approaches for multi-label chest X-ray classification. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- [15] O'Quinn, W., Haddad, R. J., & Moore, D. L. (2019, January). Pneumonia radiograph diagnosis utilizing deep learning network. In 2019 IEEE 2nd International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT) (pp. 763-767). IEEE.
- [16] Wang, H., Jia, H., Lu, L., & Xia, Y. (2019). Thorax-net: an attention regularized deep neural network for classification of thoracic diseases on chest radiography. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 24(2), 475-485.
- [17] Hammoudi, K., Benhabiles, H., Melkemi, M., Dornaika, F., Arganda-Carreras, I., Collard, D., & Scherpereel, A. (2021). Deep learning on chest x-ray images to detect and evaluate pneumonia cases at the era of covid-19. *Journal of Medical Systems*, 45(7), 1-10.
- [18] Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017, August). Understanding of a convolutional neural network. In 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET) (pp. 1-6). Ieee.
- [19] Özkan, İ. N. İ. K., & Ülker, E. (2017). Derin öğrenme ve görüntü analizinde kullanılan derin öğrenme modelleri. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 85-104.
- [20] Guo, Y., Liu, Y., Oerlemans, A., Lao, S., Wu, S., & Lew, M. S. (2016). Deep learning for visual understanding: A review. *Neurocomputing*, 187, 27-48.
- [21] Burkov, A. (2019). *The hundred-page machine learning book* (Vol. 1, pp. 3-5). Canada: Andriy Burkov.
- [22] Hashmi, M. F., Katiyar, S., Keskar, A. G., Bokde, N. D., & Geem, Z. W. (2020). Efficient pneumonia detection in chest xray images using deep transfer learning. *Diagnostics*, 10(6), 417.



Compact Embedding Theorems for The Space of Functions with Wavelet Transform in Amalgam Spaces

Öznur Kulak^{1*}

^{1*} Amasya University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Amasya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1433-3159)
oznur.kulak@amasya.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009444)

ATIF/REFERENCE: Kulak, Ö. (2021). Compact Embedding Theorems for The Space of Functions with Wavelet Transform in Amalgam Spaces. *European Journal of Science and Technology*, (28), 568-572.

Abstract

This paper is motivated to define the space $A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R})$ using the wavelet transform, and is also motivated to consider the inclusion and compact embedding theorems in this space.

Keywords: Wavelet transform, Dilation operator, Translation operator, Compact embedding, Inclusion.

Dalgacık Dönüşümleri Amalgam Uzaylarında Olan Fonksiyon Uzayları için Kompakt Gömülme Teoremleri

Öz

Bu çalışma dalgacık dönüşümü kullanarak $A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R})$ uzayını tanımlamak ve ayrıca bu uzayda kapsama, kompakt gömülme teoremlerini incelemek için motive edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dalgacık dönüşümü, Açılma operatörü, Öteleme operatörü, Kompakt gömülme, Kapsama.

* Corresponding Author: oznur.kulak@amasya.edu.tr

1. Introduction

In this paper, the space $C_c^\infty(\mathbb{R})$ denotes the space of infinitely differentiable complex-valued functions with compact supported on \mathbb{R} (Gasquet & Witomski, 1999). The parameters in wavelet theory are “time” x and “scale” s . The translation operator T_x is defined by

$$T_x f(t) = f(t - x)$$

for all $x, t \in \mathbb{R}$. The dilation operator D_s is given by

$$D_s f(t) = |s|^{-\frac{1}{2}} f\left(\frac{t}{s}\right)$$

for all $t \in \mathbb{R}$, $0 \neq s \in \mathbb{R}$. The dilation operator preserves the shape of signals and also changes the scale. This operator acts as a microscope. The continuous wavelet transform of a function f with respect to wavelet g is defined by for $x \in \mathbb{R}$ and $0 \neq s \in \mathbb{R}$

$$\begin{aligned} W_g f(x, s) &= |s|^{-\frac{1}{2}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \overline{g\left(\frac{t-x}{s}\right)} dt \\ &= f * D_s g^*(x), \end{aligned}$$

where $g^*(t) = \overline{g(-t)}$ (Gröchenig, 2001). This transform gives local information of signals of any size and any time. The continuous wavelet transform of the translation of a signal is

$$W_g(T_z f) = T_{(z,0)} W_g f$$

for any $z \in \mathbb{R}$ (Kulak & Gürkanlı, 2011).

Let $g_1, g_2 \in L^2(\mathbb{R})$. Then the conditions

$$\int_0^\infty \frac{|g_1(s\omega)g_2(s\omega)|}{s} ds < \infty$$

and

$$\int_0^\infty \frac{\overline{g_1(s\omega)}g_2(s\omega)}{s} ds = K \text{ (independent of } \omega)$$

is said the wavelet admissibility condition (Daubechies, 1992; Gröchenig, 2001; Mallat, 1998). Assume that $g_1, g_2 \in L^2(\mathbb{R})$ satisfy the admissibility condition. Then we have

$$\int_0^\infty \int_{\mathbb{R}} W_{g_1} f_1(x, s) \overline{W_{g_2} f_2(x, s)} \frac{dx ds}{s^2} = K \langle f_1, f_2 \rangle$$

for all $f_1, f_2 \in L^2(\mathbb{R})$ (Daubechies, 1992; Gröchenig, 2001; Mallat, 1998). Also the function $f \in L^2(\mathbb{R})$ is reconstructed from it's the wavelet transform by

$$f = \frac{1}{K} \int_{\mathbb{R}} \int_0^\infty W_{g_1} f(x, s) T_x D_s g_2 \frac{dx ds}{s^2},$$

where $g_1, g_2 \in L^2(\mathbb{R})$ satisfy the admissibility condition (Daubechies, 1992; Gröchenig, 2001; Mallat, 1998). If the function ω is positive real valued, measurable and locally bounded on \mathbb{R} and satisfies the following inequalities

$$\omega(x) \geq 1, \omega(x + y) \leq \omega(x)\omega(y)$$

for all $x, y \in \mathbb{R}$ (Reiter, 1968), then the function ω is called weight function. Also the weight function

$$\omega(x) = (1 + |x|)^a$$

is called weight of polynomial type such that $x \in \mathbb{R}$ and $a \geq 0$. If the weight functions ω_1 and ω_2 satisfy the condition $\omega_1(x) \leq C\omega_2(x)$, ($C > 0$) for all $x \in \mathbb{R}$, then this condition is denoted by the symbol $\omega_1 < \omega_2$. Moreover if the weight functions ω_1 and ω_2 are equivalent, we write that $\omega_1 \approx \omega_2$ if and only if $\omega_1 < \omega_2$ and $\omega_2 < \omega_1$. The space $L^p(\mathbb{R})$, ($1 \leq p \leq \infty$) denotes the usual Lebesgue space (Reiter, 1968). For $1 \leq p \leq \infty$, the weighted Lebesgue space is defined by $L^p_\omega(\mathbb{R}) = \{f: f\omega \in L^p(\mathbb{R})\}$ (Reiter, 1968). The space $(L^p(\mathbb{R}))_{loc}$ consists of classes of measurable functions f on \mathbb{R} such that $f\chi_K \in L^p(\mathbb{R})$ for any compact subset $K \subset \mathbb{R}$. Fix a compact $Q \subset \mathbb{R}$ and $Q^o \neq \emptyset$. Assume that ϑ is weight function. The weighted weighted amalgam space $W(L^q, L^r_\vartheta)$ is space of all $f \in (L^q(\mathbb{R}))_{loc}$, where $F_f(z) = \|f\chi_{z+Q}\|_q$ is in $L^r_\vartheta(\mathbb{R})$. The norm of this space is given by

$$\|f\|_{W(L^q, L^r_\vartheta)} = \|F_f\|_{r, \vartheta} = \left\| \|f\chi_{z+Q}\|_q \right\|_{r, \vartheta}$$

for all $f \in W(L^q, L^r_\vartheta)$ (Heil, 2003).

2. On The Space $A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R})$

Let $1 \leq p, q, r < \infty$ and ω, ϑ be weight functions on \mathbb{R} . Suppose that $0 \neq g \in S(\mathbb{R})$ and $s \in \mathbb{R}^+$. We set

$$A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R}) = \{f \in L^p_\omega(\mathbb{R}): W_g f \in W(L^q, L^r_\vartheta)\}$$

and equip this vector space with the following norm

$$\|f\|_{A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}} = \|f\|_{p, \omega} + \|W_g f\|_{W(L^q, L^r_\vartheta)}$$

The space $A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R})$ is normed Banach space with this norm.

Theorem 2.1

Let ω, ϑ be weight functions of polynomial type. The space $C_c^\infty(\mathbb{R})$ is dense in $A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R})$.

Proof. Take any $h \in C_c^\infty(\mathbb{R})$. Then we have $h \in L^p_\omega(\mathbb{R})$. On the other hand by (Feichtinger, 1980), we get

$$\begin{aligned} \|W_g h\|_{W(L^q, L^r_\vartheta)} &= \|h * D_s g^*\|_{W(L^q, L^r_\vartheta)} \\ &\leq \|h\|_{W(L^q, L^r_\vartheta)} \|D_s g^*\|_{1, \vartheta} < \infty \end{aligned}$$

for some $C > 0$. So we write $W_g f \in W(L^q, L^r_\vartheta)$. Then we find $h \in A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R})$ and

$$C_c^\infty(\mathbb{R}) \subset A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R}).$$

Assume that $h \in A_s(W)_{\omega, \vartheta}^{p, q, r}(\mathbb{R})$. That means $h \in L^p_\omega(\mathbb{R})$ and $W_g h \in W(L^q, L^r_\vartheta)$. It is known that $C_c^\infty(\mathbb{R})$ is dense in the spaces $L^p_\omega(\mathbb{R})$ and $W(L^q, L^r_\vartheta)$ (Kulak & Gürkanlı, 2013; Kulak & Gürkanlı, 2014). Then there exist $(h_n)_{n \in \mathbb{N}}, (f_n)_{n \in \mathbb{N}} \subset C_c^\infty(\mathbb{R})$ such that

$$\|h_n - h\|_{p, \omega} \rightarrow 0, \|f_n - W_g h\|_{W(L^q, L^r_\vartheta)} \rightarrow 0.$$

From the subsequence property, we achieve a subsequence $(f_{n_k})_{n_k \in \mathbb{N}} \subset C_c^\infty(\mathbb{R})$ such that $f_{n_k} = W_g h_{n_k}$ and

$$=(\omega(z) + \vartheta(z))\|f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}}$$

$$\|f_{n_k} - W_g h\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta})} \rightarrow 0,$$

where $(h_{n_k})_{n_k \in \mathbb{N}} \subset (h_n)_{n \in \mathbb{N}}$. Hence we get

$$\|h_{n_k} - f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \rightarrow 0$$

and $(h_{n_k})_{n_k \in \mathbb{N}} \subset C_c^\infty(\mathbb{R})$. Finally we obtain

$$\overline{C_c^\infty(\mathbb{R})} = A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R}).$$

Theorem 2.2

$A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ is Banach function space.

Proof. Take any $f \in A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. Then there exists $C > 0$ such that

$$\begin{aligned} \int_K |f(x)| dx &\leq C \|f\|_p \leq C \left\{ \|f\|_{p,\omega_1} + \|W_g f\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta})} \right\} \\ &= C \|f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \end{aligned}$$

On the other hand since $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ is Banach space and by the above inequality, we obtain that the space $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ is Banach function space.

Theorem 2.3

The space $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ is invariant under translations. Moreover For every $0 \neq f \in A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ and $s \in \mathbb{R}_+$, there exists $C(f) > 0$ such that

$$\begin{aligned} C(f)\omega(z) &\leq \|T_z f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \\ &\leq (\omega(z) + \vartheta(z, s))\|f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}}. \end{aligned}$$

Proof. Let $f \in A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ be given. Then we have $f \in L^p_\omega(\mathbb{R})$ and $W_g f \in W(L^q, L^r_{\vartheta})$. It is known that

$$\|T_z f\|_{p,\omega} \leq \omega(z)\|f\|_{p,\omega} \tag{2.1}$$

and $T_z f \in L^p_\omega(\mathbb{R})$ for all $z \in \mathbb{R}^d$ (Fischer, Gürkanlı & Liu, 1996). From the equality $W_g(T_z f) = T_{(z,0)}W_g f$, we achieve

$$\|W_g(T_z f)\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta})} \leq \vartheta(z)\|W_g f\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta})} \tag{2.2}$$

for all $z \in \mathbb{R}$ (Heil, 2003). So by (2.1) and (2.2), we get

$$\begin{aligned} \|T_z f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} &= \|T_z f\|_{p,\omega} + \|W_g T_z f\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta})} \\ &\leq \omega(z)\|f\|_{p,\omega} + \vartheta(z)\|W_g f\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta})}. \end{aligned} \tag{2.3}$$

Hence we find $T_z f \in A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$.

Now we take $0 \neq f \in A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. We know by (Fischer, Gürkanlı & Liu, 1996) that there exists $C(f) > 0$ such that

$$C(f)\omega(z) \leq \|T_z f\|_{p,\omega} \leq \omega(z)\|f\|_{p,\omega}. \tag{2.4}$$

Using by the inequalities (2.3) and (2.4), we have

$$\begin{aligned} C(f)\omega_1(z) &\leq \omega(z)\|f\|_{p,\omega} + \vartheta(z)\|W_g f\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta})} \\ &\leq \omega(z)\|f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} + \vartheta(z)\|f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \end{aligned}$$

3. Compact Embedding and Inclusion Theorems

Lemma 3.1

Assume that $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ is a sequence in $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. If $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ converges to zero in $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$, then

$$\int_{\mathbb{R}} f_n(x)g(x)dx \rightarrow 0$$

for $n \rightarrow \infty$ and for all $g \in C_c(\mathbb{R})$.

Proof. Let $g \in C_c(\mathbb{R})$ and $\frac{1}{p} + \frac{1}{s} = 1$. Then we write

$$\begin{aligned} \left| \int_{\mathbb{R}} f_n(x)g(x)dx \right| &\leq \|g\|_s \|f_n\|_p \\ &\leq \|g\|_s \|f_n\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Since $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ is a sequence in $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ and by (3.1), we obtain

$$\int_{\mathbb{R}} f_n(x)g(x)dx \rightarrow 0$$

for $n \rightarrow \infty$ and for all $g \in C_c(\mathbb{R})$.

Theorem 3.2 If $\omega_2 < \omega_1$ and $\vartheta_2 < \vartheta_1$, then

$$A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R}) \subset A_s(W)_{\omega_2,\vartheta_2}^{p,q,r}(\mathbb{R})$$

holds.

Proof. Since $\omega_2 < \omega_1$ and $\vartheta_2 < \vartheta_1$, there exist $C_1, C_2 > 0$ such that

$$\omega_2(x) \leq C_1 \omega_1(x)$$

and

$$\vartheta_2(x) \leq C_2 \vartheta_1(x)$$

for all $x \in \mathbb{R}$. Take any $f \in A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. Then we have

$$f \in L^p_{\omega_1}(\mathbb{R}) \text{ and } W_g f \in W(L^q, L^r_{\vartheta_1}).$$

Thus we get

$$\|f\|_{p,\omega_2} \leq C_1 \|f\|_{p,\omega_1}$$

and

$$\|W_g f\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta_2})} \leq C_2 \|W_g f\|_{W(L^q, L^r_{\vartheta_1})}.$$

So we find $f \in A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. Hence we achieve

$$A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R}) \subset A_s(W)_{\omega_2,\vartheta_2}^{p,q,r}(\mathbb{R}).$$

The compact embedding theorems have been studied in a number of papers (Gürkanlı, 2008; Kulak & Gürkanlı, 2011; Ünal & Aydın, 2019). Now let's give theorems that show in which cases compact embedding will not occur.

Theorem 3.3

Let ω, ϑ be weight functions of polynomial type and let φ be weight function on \mathbb{R} . If $\varphi < \omega$ and $\frac{\varphi(x)}{\omega(x)+\vartheta(x,s)} \rightarrow 0$ for $x \rightarrow \infty$,

then the embedding of the space $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ into $L_\varphi^p(\mathbb{R})$ is never compact.

Proof. If we use the assumption $\omega < \vartheta$, we say that there exists $C_1 > 0$ such that $\varphi(x) \leq C_1 \omega(x)$ for all $x \in \mathbb{R}$. So we have

$$A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R}) \subset L_\varphi^p(\mathbb{R}).$$

Let $(u_n)_{n \in \mathbb{N}}$ be a sequence with $u_n \rightarrow \infty$ as $n \rightarrow \infty$ in \mathbb{R} . From the assumption $\frac{\varphi(x)}{\omega(x)+\vartheta(x,s)}$ does not tend to zero as $x \rightarrow \infty$, there exists $\delta > 0$ such that $\frac{\varphi(x)}{\omega(x)+\vartheta(x,s)} \geq \delta > 0$ for $x \rightarrow \infty$. Fixed $f \in A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ and $u_0 \in \mathbb{R}_+$. Now we take a sequence $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ such that

$$f_n = (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1} T_{u_n} f.$$

By Theorem 2.3, we achieve

$$\begin{aligned} & \|f_n\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \\ &= \left\| (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1} T_{u_n} f \right\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \\ &= (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1} \|T_{u_n} f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \\ &\leq (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1} (\omega(u_n) + \\ &+ (\vartheta(u_n, u_0))) \|f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}} \\ &= \|f\|_{A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}}. \end{aligned}$$

So we find that this sequence is bounded in $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. Now we will show that there wouldn't exist norm convergence subsequence of $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ in $L_\varphi^p(\mathbb{R})$. Therefore we find

$$\begin{aligned} & \left| \int_{\mathbb{R}} f_n(x) g(x) dx \right| \\ &\leq \frac{1}{\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0)} \int_{\mathbb{R}} |T_{u_n} f(x)| |g(x)| dx \\ &\leq \frac{1}{\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0)} \|g\|_{p'} \|T_{u_n} f\|_p \\ &= \frac{1}{\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0)} \|g\|_{p'} \|T_{u_n} f\|_p, \end{aligned} \tag{3.2}$$

where $\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = 1$ for all $g \in C_c(\mathbb{R})$. So by inequality (3.2) tends zero for $n \rightarrow \infty$, then we obtain

$$\int_{\mathbb{R}} f_n(x) g(x) dx \rightarrow 0.$$

From Lemma 3.1, the only possible limit of $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ in $L_\varphi^p(\mathbb{R})$ is zero. Since the following equivalence

$$\|T_{u_n} f\|_p \approx \varphi(u),$$

there exist $C_1, C_2 > 0$ such that

$$C_1 \varphi(u_n) \leq \|T_{u_n} f\|_{p,\varphi} \leq C_2 \varphi(u_n). \tag{3.3}$$

If we use the inequality (3.3) and Lemma 3.1, then we achieve

$$\|f_n\|_{p,\varphi} = \left\| (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1} T_{u_n} f \right\|_{p,\varphi}$$

$$\begin{aligned} &= (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1} \|T_{u_n} f\|_{p,\varphi} \\ &\geq C_1 \varphi(u_n) (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1}. \end{aligned} \tag{3.4}$$

On the other hand since the following inequality

$$\frac{\varphi(x)}{\omega(x)+\vartheta(x,s)} \geq \delta > 0$$

for all u_n , and by the inequality (3.4), we find

$$\|f_n\|_{p,\varphi} \geq C_1 \varphi(u_n) (\omega(u_n) + \vartheta(u_n, u_0))^{-1} > \delta C_1 > 0.$$

That means there would not be possible to find norm convergent subsequence of $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ in $L_\varphi^p(\mathbb{R})$.

Theorem 3.4

Suppose that ω_1, ϑ_1 are weight functions of polynomial type and ω_2, ϑ_2 are any weight functions. If $\omega_2 < \omega_1, \vartheta_2 < \vartheta_1$ and

$$\frac{\omega_2(x)}{\omega_1(x)+\vartheta_1(x,s)} \rightarrow 0$$

for $x \rightarrow \infty$, then the embedding of the space $A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ into $A_s(W)_{\omega_2,\vartheta_2}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ is never compact.

Proof. Using by assumptions $\omega_2 < \omega_1$ and $\vartheta_2 < \vartheta_1$ and by Theorem 3.2, we write $A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R}) \subset A_s(W)_{\omega_2,\vartheta_2}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. The unit map is a continuous from $A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ into $A_s(W)_{\omega_2,\vartheta_2}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. Assume that the unit map is compact. Let $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ in $A_s(W)_{\omega_1,\vartheta_1}^{p,q,r}(\mathbb{R})$ be arbitrary bounded sequence. If there exists convergent subsequence of $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ in $A_s(W)_{\omega_2,\vartheta_2}^{p,q,r}(\mathbb{R})$, this sequence also converges in $L_{\omega_2}^p(\mathbb{R})$. But this is not possible by Theorem 3.3. This completes the proof.

5. Conclusion

In this paper, we assume that the scale s of the wavelet transform which is important tool for signal analysis and time-frequency analysis is fixed. Then we considered the space of functions $f \in L_\omega^p(\mathbb{R})$ such that their wavelet transforms $W_g f$ in $W(L^q, L_g^r)$. Also we denoted this space with the symbol $A_s(W)_{\omega,\vartheta}^{p,q,r}(\mathbb{R})$. Finally, we proved the inclusion and compact embedding theorems.

References

Daubechies, I. (1992). *Ten Lectures on Wavelets*, CBMS-NSF, SIAM, Philadelphia.

Feichtinger, H.G. (1980). Banach convolution algebras of Wiener type, In: Proc. Conf. Functions, Series, Operators, Budapest. Colloq. Math. Soc. Janos Bolyai, vol. 35, pp. 509-524.

Fischer, R.H. Gürkanlı, A.T. & Liu, T. S. (1996). On a family of weighted spaces, Math. Slovaca, 46, 1, 71-82.

Gasquet C. & Witomski, P. (1999). *Fourier Analysis and Applications*, Springer, New York.

Gröchenig, K. (2001). *Foundations of Time-Frequency Analysis*, Birkhauser, Boston.

- Gürkanlı, A.T. (2008). Compact embeddings of the spaces $A_{w,\omega}^p(\mathbb{R}^d)$, Taiwanese Journal of Mathematics, 12, 7, 1757-1767.
- Heil, C. (2003). An introduction to weighted Wiener amalgams, In: Wavelets and Their Applications, pp. 183-216. Allied Publishers, New Delhi.
- Kulak, Ö. & Gürkanlı, A.T. (2011). On function spaces with wavelet transform in $L_{\omega}^p(\mathbb{R}^d \times \mathbb{R}^+)$, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 40, 2, 163 – 177.
- Kulak Ö. & Gürkanlı, A.T. (2013). Bilinear multipliers of weighted Lebesgue spaces and variable exponent Lebesgue spaces, Journal of Inequalities and Applications, 2013:259.
- Kulak Ö. & Gürkanlı, A.T. (2014). Bilinear multipliers of weighted Wiener amalgam spaces and variable exponent Wiener amalgam spaces, Journal of Inequalities and Applications, 2014:476.
- Mallat, S. (1998). A wavelet tour of signal processing, Academic Press, San Diego, CA.
- Reiter, H. (1968). *Classical Harmonic Analysis and Locally Compact Group*, Oxford University Press, Oxford.
- Ünal C. & Aydın, İ. (2019). Compact embeddings on a subspace of weighted variable exponent Sobolev spaces, Advances in operator theory, 4, 2, 388-405.



SIQRV Modeli ve Nümerik Uygulaması

Zafer Öztürk^{1*}, Sezer Sorgun², Halis Bilgil³

^{1*}Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, Nevşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5662-4670), zaferozturk@aksaray.edu.tr

²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8708-1226), ssorgun@nevsehir.edu.tr

³Aksaray Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8329-5806), halis@aksaray.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.1009469)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, Z., Sorgun, S. & Bilgil, H. (2021). SIQRV Modeli ve Nümerik Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 573-578.

Öz

Hemen hemen tüm dünya genelinde COVID-19 salgının neden olduğu bir pandemik durum söz konusudur. Bu salgının önlenmesi için alınan önlemler ve geliştirilen aşı çalışmalarına rağmen virüsün mutasyona uğrayarak yapısının değişmesiyle birlikte salgının seyri her geçen gün değişim göstermektedir. Uzmanların ortak kanaatleri ise salgınla mücadelenin en önemli silahın aşı olduğu yönündedir. Bu çalışmada *SIQR* (Hassas-Enfekte-Karantina-İyileşmiş) salgın hastalık modeline aşılınmış bireyler sınıfı eklenerek yeni bir *SIQRV* modeli elde edildi. Yeni oluşturulan *SIQRV* modelinde toplam nüfus beş bölüme ayrılmıştır. Duyarlı birey sınıfı (*S*), enfektif birey sınıfı (*I*), karantinada olan birey sınıfı (*Q*), iyileşmiş bireylerin sınıfı (*R*) ve aşılınmış bireylerin sınıfı (*V*) ile ilgili matematiksel analizler yapılarak nümerik sonuçlar Euler methodu yardımı ile elde edildi ve grafikler çizildi.

Anahtar Kelimeler: *SIQRV* Modeli, Pandemi, Euler Methodu, Karantina, Aşılama.

SIQRV Model and Numerical Application

Abstract

There is a pandemic situation caused by the COVID-19 epidemic almost all over the world. Despite the measures taken to prevent this epidemic and the vaccine studies developed, the course of the epidemic changes day by day as the virus mutates and changes its structure. The common opinion of the experts is that the most important weapon in the fight against the epidemic is the vaccine. In this paper, a new *SIQRV* model was obtained by adding a class of individuals who have been vaccinated to the *SIQR* (susceptible-infected-quarantine-recovered) model. In the newly created *SIQRV* model, the total population is divided into five sections. Numerical results were obtained through Euler method and graphs were drawn by mathematical analysis class of the susceptible individual (*S*), the class of the infected individual (*I*), the class of the in quarantine (*Q*), the class of the recovered (*R*) and the class of the vaccinated individuals (*V*).

Keywords: *SIQRV* Model, Pandemic, Euler Method, Quarantine, Vaccination.

*Sorumlu Yazar: zaferozturk@aksaray.edu.tr

1. Giriş

Epidemiyoloji; belli toplumlarda sağlıkla ilgili durumların ve olayların saptanması, dağılımının ve nedenlerinin irdelenmesi ile bu incelemelerin sağlık problemlerinin önlenmesi ve kontrolü için yöntemler geliştirmeyi planlayan bilim dalıdır [1]. Belli bir bölgeyi etkileyen salgın hastalıklar epidemik olarak nitelendirilirler. Pandemi ise dünyada birden fazla ülkede veya kıtada, çok geniş bir alanda yayılan ve etkisini gösteren salgın hastalıklara verilen genel isimdir. İlk defa 2019 yılında Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkan ve kısa sürede tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19 hastalığı neticesinde dünya genelinde çok sayıda ölümler görülmektedir. Halen bu yeni viral hastalığa bağlı olarak, birçok ülke eğitim, ekonomi, sağlık ve turizm gibi birçok alanda zor bir süreç geçirmeye devam etmektedir. COVID-19 salgının hızla tüm dünyayı etkisi almasından dolayı 1 Mart 2020 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından pandemi olarak ilan edildi. COVID-19 virüsünün çok hızlı yayılması, mutasyonlar geçirerek güçlenmesi, insanların tedbirlere yeterince özen göstermemesi ve henüz hastalığı önleyecek kesin bir ilacının bulunamamış olması bütün insanlığın endişelerini artırmaya devam etmektedir.

Şüphesiz ki COVID-19 gibi salgın hastalıkların seyri, salgını etkileyen parametrelerle yakından ilgilidir. Bu parametrelere bağlı matematiksel modeller ise gerek mevcut durum gerekse olabilecek senaryoların takip ve kontrol edilebilmesi için en güvenilir yöntemlerin başında gelmektedir.[2] Bir salgın hastalığın ilerleyiş şekli ve salgında rolü olan faktörlerin pandemi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, ilgili otoriteler için hayati önem taşır. Çünkü yapılacak planlamalardan alınacak önlemlere kadar birçok karar bu sonuçlara bağlıdır. [3]

Enfeksiyon hastalıkları için iyi bilinen ve en sık kullanılan modeller, adi diferansiyel denklem sistemleri tarafından oluşturulan SI, SIR, SEIR, SIRD, SIQR, SEIQR, SVIR ve SEIRD gibi modellerdir [4-15]. Bu modellerdeki her bir değişken, farklı birer kompartımandaki bireylerin sayısını temsil eder.

Bu çalışmada popülasyon beş ana kompartımana ayrılarak yeni bir model geliştirilmiştir. Literatürdeki önceki çalışmalardan farklı olarak hem karantinadaki hem de aşılanmış bireylerin kompartımanları aynı modelde yer almıştır. Ayrıca aşının koruyuculuk katsayısı da göz önüne alınarak model güçlendirilmiştir. Makale dört bölümden oluşmakta olup birinci bölüm konunun önemi ve literatür bilgilerinin yer aldığı giriş bölümü olup ikinci bölümde geliştirilen SIQRV modeli verildi. Üçüncü bölümde ise SIQRV modelinin nümerik çözüm mekanizması verilerek örnek problemin çözümü ile açıklayıcı grafiklere yer verildi. Sonuçların yer aldığı dördüncü ve son bölümde ise elde edilen bulgular verildi.

2. Materyal ve Metot

2.1. SIQRV Modeli

SIQRV modeli, bir topluluğu temel olarak beş ana gruba ayırır. Birincisi hassas bireyler, ikincisi enfekte olmuş bireyler, üçüncüsü karantinada olan bireyler, dördüncüsü iyileşmiş bireyler ve beşincisi aşılanmış olan bireylerdir. Bu modelde kullanılan değişkenleri açıklayalım.

2.1.1. Modelde Kullanılan Değişkenler

S , I , Q , R ve V gruplarının birey sayılarını diferansiyel denklem sistemi şeklinde ifade edelim.

$$\frac{dS}{dt} = bN - bS - \frac{\beta SI}{N} - \sigma S + \theta V + \vartheta R$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - bI - \gamma I - kI + \frac{\beta IV}{N}$$

$$\frac{dQ}{dt} = kI - bQ - \gamma Q$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I + \gamma Q - bR - \vartheta R$$

$$\frac{dV}{dt} = \sigma S - \theta V - bV - \frac{\beta IV}{N}$$

$$S(0) = S_0, I(0) = I_0, Q(0) = Q_0, R(0) = R_0, V(0) = V_0$$

$$S + I + Q + R + V = N.$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dQ}{dt} + \frac{dR}{dt} + \frac{dV}{dt} = 0$$

Sistemde kullanılan değişkenler:

$S(t)$: Popülasyondaki hassas bireylerin sayısı

$I(t)$: Popülasyondaki enfektif bireylerin sayısı

$Q(t)$: Popülasyondaki karantinada olan bireylerin sayısı

$R(t)$: Popülasyondaki bağışıklığa sahip bireylerin sayısı

$V(t)$: Popülasyondaki aşılanmış bireylerin sayısı

$N(t)$: Toplam popülasyon sayısı

Sistemde kullanılan parametreler:

β : Bulaştırma katsayısı

σ : Aşılama oranı

θ : Aşının korumasının düşme oranı

b : Doğum ve ölüm oranı

γ : İyileşme oranı

ϑ : İyileşenlerin bağışıklığını kaybetme oranı

k : Enfekte gruptan karantina grubuna geçenlerin oranı

Popülasyonda dışarıdan göç alımı, dışarıya göç verme yoktur. Ayrıca popülasyondaki her bireyin aynı olasılıkla bulaştırma oranına sahip olduğu kabul edilmiştir. Yaş, cinsiyet, sosyal statü ve ırk enfekte olma olasılığını etkilemektedir. Kalıtsal bağışıklık yoktur. Doğal doğum ve ölüm oranları modele dahil edilmiştir. Tüm doğumlar hassas sınıfa girmiş kabul edilir. [6-7]

$$N = 200, S = 130, Q = 10, R = 20, V = 15$$

$$\beta = 0.6, \gamma = 0.25, \vartheta = 0.02, k = 0.001,$$

$$b = 0.02, \theta = 0.005, \sigma = 0.55$$

parametrelerini ele alalım.

$$S(k + 1) = S(k) + bN - bS(k) - \frac{\beta S(k)I(k)}{N} - \sigma S(k) + \theta V(k) + \vartheta R(k)$$

$$I(k + 1) = I(k) + \frac{\beta S(k)I(k)}{N} - bI(k) - \gamma I(k) - kI(k) + \frac{\beta I(k)V(k)}{N}$$

$$Q(k + 1) = Q(k) + kI(k) - bQ(k) - \gamma Q(k)$$

$$R(k + 1) = R(k) + \gamma I(k) + \gamma Q(k) - bR(k) - \vartheta R(k)$$

$$V(k + 1) = V(k) + \sigma S(k) - \theta V(k) - bV(k) - \frac{\beta I(k)V(k)}{N}$$

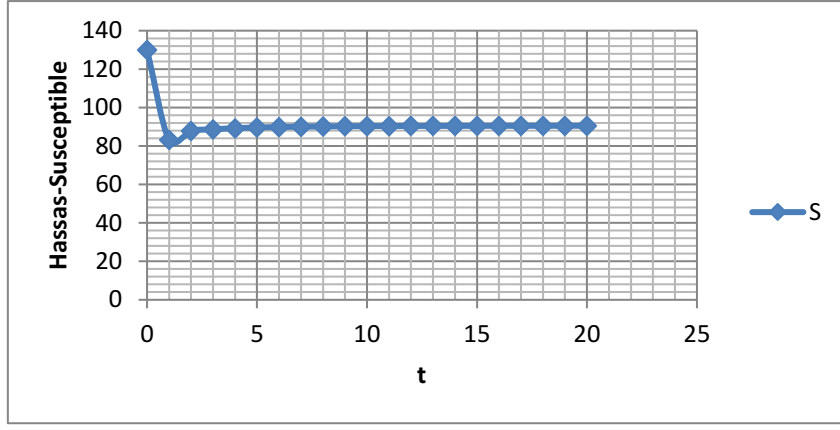
Euler methodunu kullanarak her $k = 0, 1, \dots, n - 1$ için aşağıdaki tabloyu elde ederiz.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma 3.1. SIQRV Modelinin Nümerik Simülasyonu

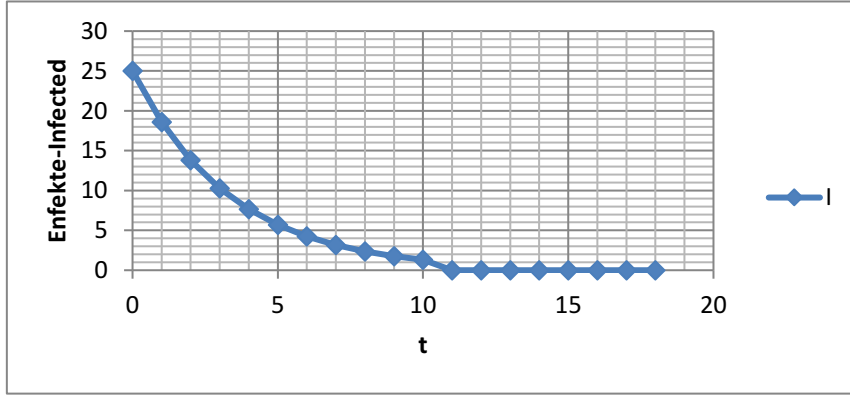
Bu bölümde SIQRV modelinin nümerik simülasyonunu ve grafiklerini göstereceğiz. Matematiksel modellerin birçoğu lineer olmayan sistemlerden oluşur ve bu sistemlerin çözümlerinin bulunması oldukça zor olabilir. Bu durumda nümerik çözümler oldukça önem taşımaktadır. Nümerik yöntemlerden bir tanesi de Euler methodudur. [16]

Tablo 1. S, I, Q, R ve V'nin t anındaki değerleri.

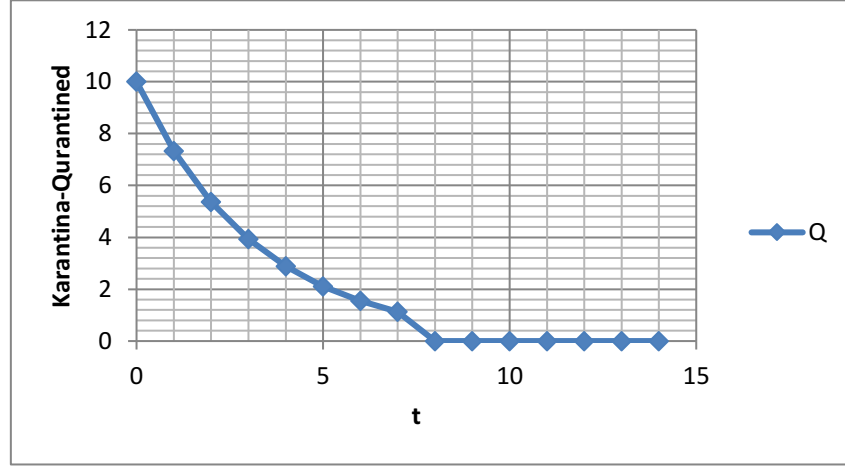
t	S(t)	I(t)	Q(t)	R(t)	V(t)
0	130	25	10	20	15
1	83.1625	18.5875	7.325	27.95	86.0875
2	87.8563	13.8219	5.3658	33.3101	116.8027
3	88.6779	10.28	3.9308	36.7746	130.6059
4	89.2525	7.6473	2.8798	38.8564	137.3311
5	89.6235	5.69	2.1099	39.9339	141.0997
6	89.8766	4.2347	1.5459	40.2865	143.6334
7	90.055	3.1522	1.1327	40.1202	145.6463
8	90.1835	2.347	0.83	39.5867	147.4308
9	90.2772	1.7479	0.6082	38.7975	149.1033
10	90.3462	1.3019	0.4458	37.8347	150.7082
11	90.3973	0.97	0.3267	36.7582	152.2610
12	90.4353	0.7228	0.2394	35.6121	153.7658
13	90.4635	0.5387	0.1755	34.4282	155.2234
14	90.4846	0.4016	0.1286	33.2297	156.6331



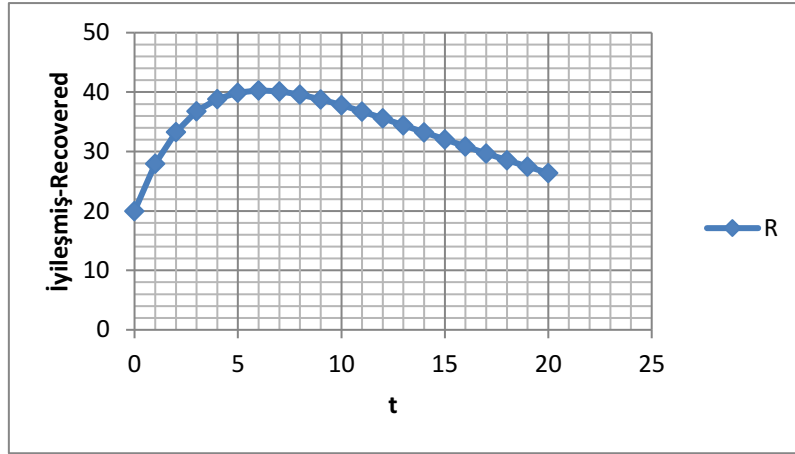
Şekil 1. S Kompartman modelinin zamana göre değişim grafiği



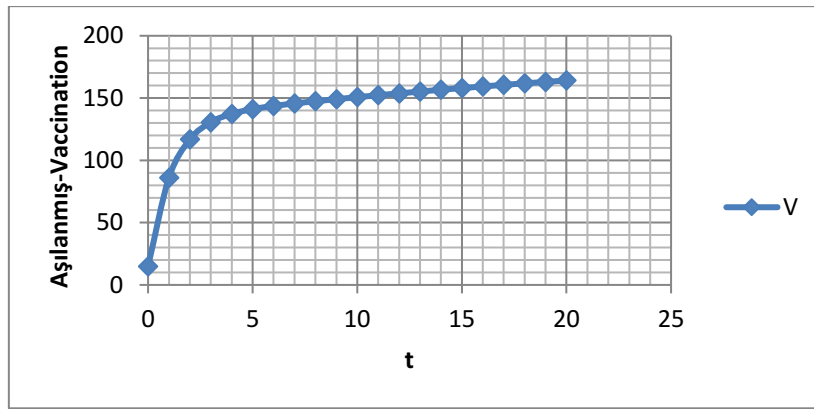
Şekil 2. I Kompartman modelinin zamana göre değişim grafiği



Şekil 3. Q Kompartman modelinin zamana göre değişim grafiği



Şekil 4. R Kompartman modelinin zamana göre değişim grafiği



Şekil 5. V Kompartman modelinin zamana göre değişim grafiği

4. Sonuç

Bu çalışmada $SIQR$ modeline V kompartman modeli eklenerek yeni bir model elde edildi. Aşılama oranı ve aşının koruyuculuğu kaybetme oranı modellemeye dahil edilerek, aşılama ile birlikte salgının ne şekilde değişeceği nümerik simülasyonlar yardımıyla incelendi. Elde edilen grafiklerde hassas bireylerin zamanla azalarak sabit bir şekilde ilerlediği, enfekte bireylerin zamanla azalarak sifıra yaklaştığı, karantinada olan bireylerin zamanla azalarak sifıra yaklaştığı, iyileşen bireylerin $t=5$ zamanında maksimum değerini aldıktan sonra zamanla azaldığı ve aşılanan bireylerin zamanla hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aşılama oranının artırılarak salgınla mücadelede önemli yol kat edileceği gerçeği gözlemlendi.

Kaynakça

1. Köksal, S.S., 2008. "Epidemiyoloji", Halk Sağlığı Ders Kitabı, Baltaş Z, Ed., İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 46-144.
2. Valleron, A. J., 2000. Roles of Mathematical Modeling in Epidemiology, Comptes Rendus de l'Academie des Sciences - Series III- Sciences de la Vie, 323 (5): 429-433.
3. Allen L. J. S., 2007, An Introduction to Mathematical Biology, Department of Mathematics and Statistics, Texas Tech University, Pearson Education., 348.
4. W.O. Kermack and A.G. McKendrick, 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics, in: Proceedings of the

- Royal Society of London, Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 115 (772), 700-721,
5. S.T.A. Shah, M. Mansoor, A.F. Mirza, M. Dilshad, M.I. Khan, R. Farwa, M.A. Khan, M. Bilal and H.M.N. Iqbal, 2020. Predicting COVID-19 spread in Pakistan using the SIR Model, J. Pure Appl. Microbiol. 14 (2), 1423-1430.
6. R. M. Anderson, R. M. May, Infectious Diseases of Humans: Dynamics and Control (Oxford University Press, Oxford, 1991).
7. N. T. J. Bailey, The Mathematical Theory of Infectious Diseases and its Application (Hafner Press, New York, 1975)
8. H. Hethcote, M. Zhien, L. Shengbing, 2002. Effects of quarantine in six endemic models for infectious diseases, Mathematical Biosciences 180, 141160.
9. Muroya, Y.; Enatsu, Y.; Nakata, Y., 2011. Global stability of a delayed SIRS epidemic model with a non-monotonic incidence rate. J. Math. Anal. Appl., 377, 1-14.
10. Mishra, B.K.; Jha, N. SEIQRS model for the transmission of malicious objects in computer network. Appl. Math. Model. 2010, 34, 710-715.
11. Liu, X.; Takeuchi, Y.; Iwami, S., Liu, X.; Takeuchi, Y.; Iwami, S., 2008. SVIR epidemic models with vaccination strategies. J. Theor. Biol. , 253, 1-11.
12. Trawicki, M.B., 2017. Deterministic Seirs Epidemic Model for Modeling Vital Dynamics, Vaccinations, and Temporary Immunity. Mathematics, 5, 7.

13. Sun, C.; Yang, W., 2010. Global results for an SIRS model with vaccination and isolation. *Nonlinear Anal. Real World Appl.*, 11, 4223–4237.
14. Eckalbar, J.C.; Eckalbar, W.L. Dynamics of an SIR model with vaccination dependent on past prevalence with high-order distributed delay. *Biosystems* 2015, 129, 50–65.
15. Odagaki, T., 2021. Exact properties of SIQR model for COVID-19. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 564, 125564.
16. Mascagni, M., 1990. The backward euler method for numerical solution of the Hodgkin–Huxley equations of nerve conduction. *SIAM journal on numerical analysis*, 27(4), 941-962.



Plantar Basınç Dağılımı Sinyalleri Kullanılarak Erken MS'lilerde Ataksinin Hybrt CNN Modelleri ile Belirlenmesi

Aslı Sesli^{1*}, Seda Arslan Tuncer², Furkan Bilek³

^{1*} Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6514-4908), aslisesli8@gmail.com

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6472-8306), satuncer@firat.edu.tr

³ Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1567-7201), fzt.furkanbilek@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009129)

ATIF/REFERENCE: Sesli, A., Arslan-Tuncer, S. & Bilek, F. (2021). Plantar Basınç Dağılımı Sinyalleri Kullanılarak Erken MS'lilerde Ataksinin Hybrt CNN Modelleri ile Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 579-583.

Öz

Multipl Skleroz (MS), ataksi ve denge bozukluklarına neden olan bir merkezi sinir sistemi hastalığıdır. Atakside genellikle ilk semptom yürüyüş bozukluğu olarak görülmektedir. Yürüyüş ataksisi klinik olarak artmış çift destek süresi, kısalmış adım uzunluğu ve düzensiz adımlar ile tanımlanabilir. Bu yüzden ataksi tespitinde yürüme bozukluğunun değerlendirilmesi doğru bir yol olacaktır. Derin öğrenme çok sayıda girdi verisinden özellik çıkararak çıktı verisini tahmin eden bir makine öğrenmesi yöntemidir. Derin öğrenme nesne tanıma, sınıflandırma ve sinyal işleme gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada plantar basınç dağılım sinyalleri içeren görüntüler kullanılarak MS'li bireyler (PwMS) için ataksi tespiti yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla PwMSi olan ve sağlıklı olan bireylerin plantar basınç dağılım sinyallerini içeren toplam 418 görüntü önceden eğitilmiş Hybrt CNN ağlar yardımıyla sınıflandırılmıştır. Veri setinden özellik çıkarılırken VGG16, VGG19, ResNet, MobilNet ve NasNet derin öğrenme mimarileri kullanıldı. Daha sonra elde edilen özellik vektörleri SVM, KNN ve ANN sınıflandırıcıları kullanılarak sınıflandırıldı. Bu çalışma sonucunda en iyi sınıflandırma performansı, SVM sınıflandırıcısı ile VGG19 %85.71 Acc %81.81 Sen, %88.23 Spe derin öğrenme mimarisi kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmanın yapay zeka yardımı ile PwMS'de ataksi tespitinde hekime yardımcı olacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Multiple Skleroz, Ataksi, Derin Öğrenme, Sınıflandırma

Determination of Ataxia With Hybrt CNN Models in Early MS Using Plantar Pressure Distribution Signals

Abstract

Multiple sclerosis (MS) is a disease of the central nervous system that causes ataxia and deficits in balance. In ataxia, the first symptom is usually seen as gait disturbance. Gait ataxia can be clinically defined by increased double support time, shortened stride length, and irregular strides. In this direction, the evaluation of deterioration in the detection of ataxia would be the right way. Deep learning is a machine learning method that predicts output data by extracting features from a large number of input data. Deep learning is frequently used in areas such as object recognition, classification and signal processing. In this study, it was aimed to detect ataxia for individuals with MS (PwMS) using images containing plantar pressure distribution signals. For this purpose, a total of 418 images containing the plantar pressure distribution signals of healthy individuals with PwMSi were classified with the help of pre-trained Hybrid CNN networks. VGG16, VGG19, ResNet, MobilNet and NasNet deep learning architectures were used to extract features from the dataset. Then the obtained feature vectors were classified using SVM, KNN and ANN classifiers. As a result of this study, the best classification performance was obtained by using the SVM classifier and VGG19 85.71% Acc 81.81% Sen, 88.23% Spe deep learning architecture. It was concluded that this study will help the physician in the detection of ataxia in PwMS with the help of artificial intelligence.

Keywords: Multiple Sclerosis, Ataxia, Deep Learning, Classification

* Sorumlu Yazar: aslisesli8@gmail.com

1. Giriş

Multipl skleroz (MS), merkezi sinir sisteminin kronik, enflamatuar ve otoimmün bir hastalığıdır, çoklu demiyelinizan plakların zaman ve mekânda yayıldığı çeşitli belirtilere ve semptomlara neden olur [1]. Ataksi bu semptomların en zorlayıcılarından biridir. Serebellar, vestibüler ve / veya duyuşal sistem problemlerine bağlı olarak ortaya çıkar. Kas kuvvet kayıpları, spastisite, duyuşal sorunlar, yorgunluk MS'de görülen yürüyüş bozukluklarının Ataksik semptomların şiddeti ve özellikleri bu sorunların varlığına göre değişir ve genellikle birlikte ortaya çıkar [2].

Yürüyüşün yaşam kalitesine ve fonksiyonel bağımsızlığa olan önemine dair artan farkındalık, pek çok araştırma grubunun bu motor fonksiyonların pato-fizyolojisi, epidemiyolojisi, klinik ve terapötik yönlerini incelemesine neden olmuştur [5].

Minimal engelli MS'libireylerde (PwMS), yürüyüş değişikliklerinin tespiti ve anlaşılması zordur. Bazı çalışmalar hız, kadans ve adım uzunluğunu ve çift desteğin artmış süresini bildirirken diğerleri sağlıklı bireyler ile ilgili herhangi bir fark tespit edememekte veya bunları birkaç parametrede bulamamaktadır [7-10].

İnsan gözü saniyede 18–25 adet görüntü algılayabilmektedir. Bu sebeple yürüyüş esnasında milisaniyeler içinde gerçekleşen hareketlerin objektif olarak değerlendirilmesi mümkün değildir.

Başarılı bir tedavi uygulanabilmesi için tanının doğru konulması önemli iken normal ve patolojik yürüyüş özellikleri bilinmeli ve yürüyüşü etkileyen asıl neden anlaşılmalıdır [11].

PwMS'de ataksi tespiti için yürüyüşün basınç dağılımını içeren görüntüyü kullanan makine öğrenmesi temelli yaklaşımlara literatür de rastlanmamıştır. Fakat MS dışındaki farklı hastalıklarda ataksi tespiti için derin öğrenme ya da makine öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla genellikle yüksek maliyetli giyilebilir sensörler ya da accelerometric kullanmışlardır [12,15].

Mevcut yöntemlerle hastalardan veri elde etmek için giyilebilir teknoloji veya Win-Track platformları kullanılmaktadır. Ancak tanı için elde edilen veriler doğrudan uzman hekim tarafından değerlendirilir. Hastalığın erken evrelerinde, henüz semptomatik olmayan veya EDSS skoru ikinin altında olan bireylerdeki minimum etkileşimli yürüyüş farklılıklarının hekimler tarafından teşhisi klinik olarak oldukça zordur. Yüksek performanslı karar destek sistemleri, hastalığın erken teşhisi ve bu alanda hekim değerlendirmesine yardımcı olması açısından çok önemli olacaktır.

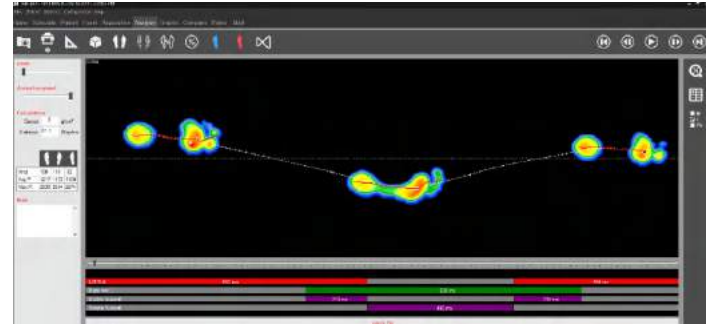
Bu çalışmada, plantar basınç dağılımı sinyalleri içeren bir görüntü veri seti kullanılarak, derin öğrenme tabanlı bir yaklaşımla PwMS için ataksi tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada PwMS'yi erken evrelerde teşhis etmek amacıyla hekimlere yardımcı olacak alternatif ve objektif bir yöntem önerilmektedir.

2. Materyal ve Metot

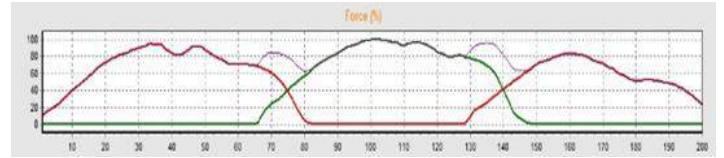
Bu çalışmada Fırat Üniversitesi Hastanesi Nöroloji Bölümüne başvuran ve Mc Donald kriterlerine göre kesin MS tanısı konulmuş gönüllü 43 ataksik MS'li birey ve 62 sağlıklı olmak

üzere toplam 105 bireyin verileri kullanıldı. Tüm işlemler, Fırat Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanan ilkelere uygun olarak gerçekleştirildi ve tüm katılımcılar yazılı bilgilendirilmiş onam verdi. Tüm katılımcıların ataksi durumu, Ataksiyi Değerlendirme ve Değerlendirme Ölçeği (SARA) ile değerlendirildi [16].

Win-Track platformu (MEDICAPTEURS Technology, Fransa), yalnızca yürüme sırasında plantar basıncı ve yürüyüş parametrelerini ölçen bir araçtır. Boyutları 1610 mm × 652 mm × 30 mm (uzunluk / genişlik / yükseklik)'dir. Platform dirençli tipte 12288 sensör içerir. Sensörlerin boyutları 7.8 × 7.8 mm'dir ve aparatın yakalama frekansı 200 görüntü / saniyedir. Her bir hastanın yürüyüş esnasında taban altı basınç dağılımını içeren görüntüyü almak için Win-Track basınç platformu kullanıldı. Şekil 1 PwMS ait plantar basınç dağılımı görüntülerini gösterirken, Şekil 2 ise çalışmada kullanılan veriyi göstermektedir. Şekil 2 de 3 farklı renkte sinyal bulunmaktadır. Görüntüdeki sinyallerden kırmızı sinyal sol ayak, yeşil sinyal sağ ayak mor sinyal ise dönüşümlü olarak double support, single support ve swing faz parametrelerini göstermektedir.



Şekil 1: MS'li Bireye Ait Plantar Basınç Dağılımı Görüntüsü



Şekil 2: MS'li Bireye Ait Plantar Basınç Dağılımı Sinyalleri

Evrışimli sinir ağı (CNN), günümüzde en çok kullanılan derin öğrenme modellerinden biridir. CNN modelleri, nesne tanıma, sinyal ve görüntü işleme gibi birçok alanda kullanılmaktadır [17]. Bu çalışmada yürüyüş basınç dağılımı sinyalleri ile önceden eğitilmiş CNN modelleri kullanılarak PwMS'de ataksi tespitinin yapılması amaçlanmıştır.

Büyük hacimli bir eğitim verisi veya işleyecek donanım gücünün olmaması durumunda Transfer Learning yöntemi yaklaşımı kullanılır. Transfer learning, büyük miktarlarda ve uzun süreler eğitim sonucunda optimum parametrelere ulaşmış ağırlıklar üzerinden mevcut düşük miktarlı veriler üzerinde öznetelik çıkarmak için yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

Yürüyüş basınç sinyalleri içeren görüntüler VGG16, VGG19, ResNet, MobileNet ve NasNetMobile modellerinin giriş verisi olarak kullanılmış, böylece transfer öğrenme yöntemi kullanılarak her modelden çıktı olarak özellik vektörleri elde edilmiştir.

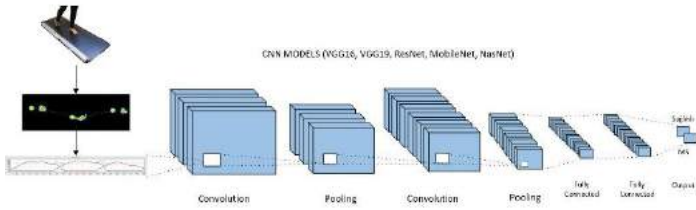
VGG16 13 konvülosyan katmanı ve 3 tam bağlı katmanlı bir yapıya sahiptir. 2x2 boyutlu 5 max pooling ve son katmanda softmax katmanı bulunmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLu kullanılmıştır ve 138 milyon parametreye sahiptir [18].

VGG19 16 konvülosyan katmanı, 3 tam bağlı katmanlı bir yapıya ve 144 milyon parametreye sahiptir [18].

ResNet modeli ise 50 katmanlı bir yapıya sahiptir ve CNN'lerde ağ yapısının derinliği artıkça eğitim zorlaşması sorununu çözmek için normal CNN'lerdeki nonlinear F(x) fonksiyonu kullanarak haritalamak yerine girişten (x) çıkışa bir kısacık bağlantısı yaparak ve belirli katmanları atlayarak, giriş (x) değerini F(x) fonksiyonuna aritmetik (F(x)+x) olarak eklemektedir. Böylece daha kolay bir eğitim süreci gerçekleştirmektedir [19].

MobileNet, hesaplama gücünün zayıf olduğu mobil ve gömülü görsel uygulamalar için geliştirilmiş bir derin CNN mimarisidir. Bu mimari aynı zamanda çoğu gerçek dünya problemlerine çözüm olabilecek gerçek zamanlı nesne tanıma gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [20].

NasNet Derin öğrenme mimarilerinin eğitiminde neural network oluşturma ve oluşturulan ağın yönetilmesi konusunda mimari mühendislik bilgisi gerektirmektedir. Bu zorluğu minimize etmek amacıyla Google yapay zekâ araştırmacıları tarafından oluşturulacak ağı mimarisini kendi organize edebilen otomatik bir makine öğrenme sistemi tasarlamıştır [21].



Şekil 3 : Önerilen karar destek sistemi

VGG16, VGG19, ResNet, MobileNet ve NasNetMobile modelleri kullanılarak çıkarılan özellikler SVM KNN ve ANN sınıflandırıcıları yardımıyla sınıflandırılmıştır.

Destek vektör makineleri (SVM), bir uzayı bilinen pozitif ve negatif örneklerle ikiye ayıran en iyi hiper düzlemi bulmayı amaçlayan sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Zaman serilerinin sınıflandırmasında, yüz tanıma uygulamalarında ve tıbbi teşhislerin biyolojik veri işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

K-En Yakın komşu (k-NN) algoritması, uygulaması kolay denetimli öğrenme algoritmalarından biridir. Algoritma, belirli sınıflar ile bir örnek kümesindeki verileri kullanarak sınıflandırma yapar. Veri setine dahil edilecek yeni verinin mesafesi mevcut verilere göre hesaplanır ve k yakın komşu kontrol edilir [22].

Yapay Sinir Ağları (ANN) insan beyninin çalışma yeteneğini taklit ederek ortaya çıkmıştır. Yapay sinir ağlarında parametrelerin güncellenmesi için geri yayılım algoritmaları kullanılmaktadır. Delta kuralı, geri yayımlı ağ eğitilirken hedef değerler ile çıkış değerleri arasındaki farkın bir kısmı, her bir eğitim hücrelerine geri yansıtılarak ağırlıkların değiştirilmesini ve bu işlemin belli sayıda tekrarlanarak hatanın en küçük değere ulaşmasını sağlayan bir yöntemdir [23].

Sınıflandırmanın homojen bir yapıda olması amacıyla en sonda çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. K değeri 5 olarak belirlenmiştir. Çapraz doğrulama yöntemi modelin görmediği veriler üzerinde objektif ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bulgular

Bu çalışmada modellerin sınıflandırma performansları doğruluk, hassasiyet özgüllük ve F ölçüsü metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Kullanılan metriklerin yöntem ve formülleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{Hassasiyet (Sen)} = \frac{N_{TP}}{N_{FN} + N_{TP}}$$

$$\text{Özgüllük (Spe)} = \frac{N_{TN}}{N_{TN} + N_{FP}}$$

$$\text{F1 Skor} = 2 \times \frac{N_{TP}}{N_{FN} + N_{TP}}$$

$$\text{Doğruluk (Acc)} = \frac{N_{TN} + N_{TP}}{N_{TN} + N_{FN} + N_{TP} + N_{FP}}$$

Doğru Pozitif (TP) : Doğru şekilde tanımlanan ataksi geçirmiş MS hastası sayısı

Yanlış Negatif (FN) : Sağlıklı olarak tanımlanan ataksi geçirmiş MS hastası sayısı

Doğru Olumsuz (TN) : Sağlıklı olan ve sağlıklı olarak tanımlanan sağlıklı birey sayısı

Yanlış Pozitif (FP) : Sağlıklı olan ancak ataksi geçirmiş MS hastası olarak tanımlanan birey sayısı

Tablo 1 de, kullanılan performans değerlendirme metrikleri ve modeller ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

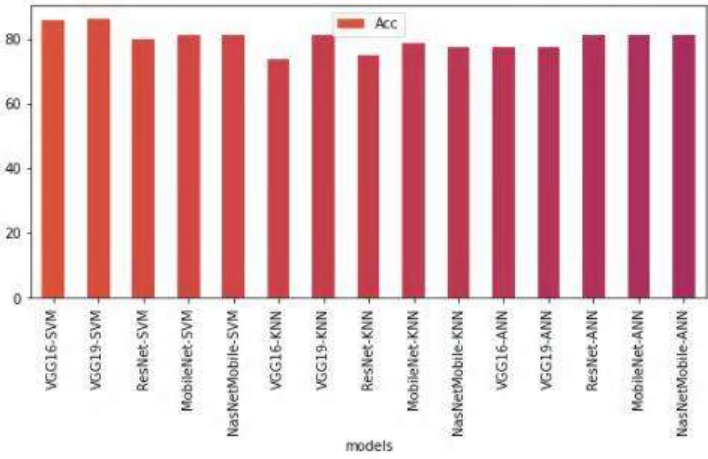
Tablo 1 Elde Edilen Sınıflandırma Sonuçları

	Model	Acc (%)	Spe (%)	F1 Measure (%)
SVM	VGG16	85.71	84.31	82.85
	VGG19	85.71	88.23	81.81
	ResNet	79.76	87.03	77.65
	MobileNet	80.95	89.36	77.66
	NasNetMobile	80.95	85.10	77.67
KNN	VGG16	73.80	66.66	77.68
	VGG19	80.95	78.72	77.69
	ResNet	75.00	76.59	77.70
	MobileNet	78.57	76.59	77.71
	NasNetMobile	77.38	80.85	77.72
ANN	VGG16	77.38	76.47	77.73
	VGG19	77.38	86.66	77.74
	ResNet	80.95	87.80	77.75
	MobileNet	80.95	95.74	77.76
	NasNetMobile	80.95	85.10	77.77

Tabloda da görüldüğü gibi VGG19 ile çıkarılan özelliklerin SVM sınıflandırıcıları ile daha yüksek doğrulukla sınıflandırdığı görülmektedir. Aynı zamanda SVM sınıflandırıcılarının diğer tüm sınıflandırıcılardan daha yüksek sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

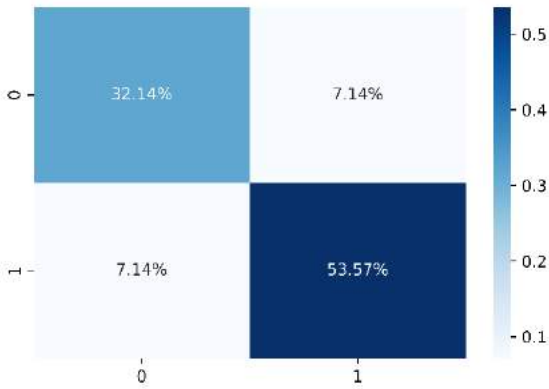
Kullanılan 5 CNN model ve sınıflandırıcılar analiz edildiğinde en yüksek doğruluk, hassasiyet ve özgüllük değerine VGG19 modeli ile (%85.71 Acc %81.81 Sen, %88.23)Spe ulaşmıştır.

Şekil 4 de, kullanılan CNN modeller ve sınıflandırıcılar ile elde edilen doğruluk sonuç grafiği verilmiştir.



Şekil 4: Sınıflandırma Sonuç Grafiği

Karışıklık matrisi, genellikle bir sınıflandırma modelinin test verileri üzerindeki performansını tanımlamak için kullanılan etkili bir araçtır. Aşağıdaki şekilde, en iyi başarıyı sağlayan SVM sınıflandırıcısı ile sınıflandırılmış VGG19 modelinin karışıklık matrisi bulunmaktadır.



Şekil 5: SVM Sınıflandırıcısı ile Sınıflandırılmış VGG19 modeli karışıklık matrisi

3.2. Tartışma

Kesinlik, doğru tahmin ettiğimiz alanların toplam veri kümesine oranı ile hesaplandığından, tek başına yeterli değildir. Hassasiyet, bir testin test edilen koşula sahip kişiler için ne sıklıkla doğru bir sonuç verdiğini ölçerken, Özgüllük, bir testin test edilmekte olan koşula sahip olmayan kişiler için doğru bir negatif sonuç üretme yeteneğini ölçer. Bu nedenle hepsi birlikte değerlendirilmelidir. Sınıflandırıcılar için ise doğrudan sınıflandırıcı başarısından

bahsetmek yerine kullanılan modelin problem çözmeye yatkınlığından bahsedilebilir. Bölüm 3 de elde edilen bulgular analiz edildiğinde VGG19 SVM modelinin çözülmesi amaçlanan problem için daha uygun olduğu söylenebilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, PwMS ait, Plantar basınç dağılımını içeren sinyaller kullanılarak önceden eğitilmiş CNN ağları yardımıyla Ataksi tespiti yapılmıştır. Çalışma PwMS’de ataksi tespiti için otonom bir karar destek sistemi sağlayabilmiştir. Bu sayede probleme insan yanılığısından uzak standardize bir çözüm getirilmiştir. Çalışmanın performansından yola çıkarak, pratikte uygulanabileceğini, henüz semptom vermeyen ve klinik olarak fark edilmeyen ataksinin erken dönemde tespit edilebileceğini ve hekime yardımcı bir sistem olarak önerilebileceği kanaatine varılmıştır.

5. Teşekkür

Değerli katılımcılara işbirlikleri için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] McDonald, W. I., Compston, A., Edan, G., Goodkin, D., Hartung, H. P., Lublin, F. D., McFarland, H. F., Paty, D. W., Polman, C. H., Reingold, S. C., Sandberg-Wollheim, M., Sibley, W., Thompson, A., van den Noort, S., Weinschenker, B. Y., & Wolinsky, J. S. (2001). Recommended diagnostic criteria for multiple sclerosis: guidelines from the International Panel on the diagnosis of multiple sclerosis. *Annals of neurology*, 50(1), 121–127. <https://doi.org/10.1002/ana.1032>
- [2] Finlayson, M., Multiple sclerosis rehabilitation: from impairment to participation. (2012): Crc Press, <https://doi.org/10.1201/b12666>.
- [3] Bethoux, F., & Bennett, S. (2011). Evaluating walking in patients with multiple sclerosis: which assessment tools are useful in clinical practice?. *International journal of MS care*, 13(1), 4–14. <https://doi.org/10.7224/1537-2073-13.1.4>
- [4] Givon, U., Zeilig, G., & Achiron, A. (2009). Gait analysis in multiple sclerosis: characterization of temporal-spatial parameters using GAITRite functional ambulation system. *Gait & posture*, 29(1), 138–142. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.07.011>
- [5] Nutt, J. G., Horak, F. B., & Bloem, B. R. (2011). Milestones in gait, balance, and falling. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 26(6), 1166–1174. <https://doi.org/10.1002/mds.23588>
- [6] Heesen, C., Böhm, J., Reich, C., Kasper, J., Goebel, M., & Gold, S. M. (2008). Patient perception of bodily functions in multiple sclerosis: gait and visual function are the most valuable. *Multiple sclerosis (Houndmills, Basingstoke, England)*, 14(7), 988–991. <https://doi.org/10.1177/1352458508088916>
- [7] Benedetti, M. G., Piperno, R., Simoncini, L., Bonato, P., Tonini, A., & Giannini, S. (1999). Gait abnormalities in minimally impaired multiple sclerosis patients. *Multiple sclerosis (Houndmills, Basingstoke, England)*, 5(5), 363–368. <https://doi.org/10.1177/135245859900500510>

- [8] Martin, C. L., Phillips, B. A., Kilpatrick, T. J., Butzkueven, H., Tubridy, N., McDonald, E., & Galea, M. P. (2006). Gait and balance impairment in early multiple sclerosis in the absence of clinical disability. *Multiple sclerosis (Houndmills, Basingstoke, England)*, 12(5), 620–628. <https://doi.org/10.1177/1352458506070658>
- [9] Morel, E., Allali, G., Laidet, M., Assal, F., Lalive, P. H., & Armand, S. (2017). Gait Profile Score in multiple sclerosis patients with low disability. *Gait & posture*, 51, 169–173.
- [10] Morel, E., Allali, G., Laidet, M., Assal, F., Lalive, P. H., & Armand, S. (2017). Gait Profile Score in multiple sclerosis patients with low disability. *Gait & posture*, 51, 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.10.013>
- [11] DeLisa, J. A. (Ed.). (1998). *Gait analysis in the science of rehabilitation (Vol. 2)*. Diane Publishing.
- [12] LeMoyné, R., Heerinckx, F., Aranca, T., De Jager, R., Zesiewicz, T., & Saal, H. J. (2016, June). Wearable body and wireless inertial sensors for machine learning classification of gait for people with Friedreich's ataxia. In 2016 IEEE 13th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN) (pp. 147–151). IEEE.
- [13] Phan, D., Nguyen, N., Pathirana, P. N., Horne, M., Power, L., & Szmulewicz, D. (2019). A random forest approach for quantifying gait ataxia with truncal and peripheral measurements using multiple wearable sensors. *IEEE Sensors Journal*, 20(2), 723–734.
- [14] Prochazka, A., Dostal, O., Cejnar, P., Mohamed, H. I., Pavelek, Z., Valis, M., & Vysata, O. (2021). Deep Learning for Accelerometric Data Assessment and Ataxic Gait Monitoring. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 29, 360–367. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3051093>
- [15] Ilg, W., Seemann, J., Giese, M., Träschütz, A., Schöls, L., Timmann, D., & Synofzik, M. (2020). Real-life gait assessment in degenerative cerebellar ataxia: Toward ecologically valid biomarkers. *Neurology*, 95(9), e1199–e1210. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000010176>
- [16] Marquer, A., Barbieri, G., & Pérennou, D. (2014). The assessment and treatment of postural disorders in cerebellar ataxia: a systematic review. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 57(2), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2014.01.002>
- [17] Duysak, H., Ozkaya, U., & Yigit, E. (2021). Determination of the Amount of Grain in Silos with Deep Learning Methods Based on Radar Spectrogram Data. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. doi: 10.1109/TIM.2021.3085939
- [18] Mateen, M., Wen, J., Song, S., & Huang, Z. (2019). Fundus image classification using VGG-19 architecture with PCA and SVD. *Symmetry*, 11(1), 1.
- [19] Zagoruyko, S., & Komodakis, N. (2016). Wide residual networks. arXiv preprint arXiv:1605.07146.
- [20] Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., ... & Adam, H. (2017). Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv preprint arXiv:1704.04861.
- [21] Zoph, B., Vasudevan, V., Shlens, J., & Le, Q. V. (2018). Learning transferable architectures for scalable image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8697–8710).
- [22] Vapnik, V. (1998). The support vector method of function estimation. In *Nonlinear modeling* (pp. 55–85). Springer, Boston, MA.
- [23] He, C., Ma, M., & Wang, P. (2020). Extract interpretability-accuracy balanced rules from artificial neural networks: a review. *Neurocomputing*, 387, 346–358.



Replacement of Extrusion by Temperature-Controlled Ultrasonication in Emulsome Production

Mehmet Hikmet Üçışık^{1,2,3,*}

^{1*} Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Genetics and Bioengineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9434-3861), mehmet.ucisik@yeditepe.edu.tr

² Istanbul Medipol University, School of Engineering and Natural Sciences, Department of Biomedical Engineering, Beykoz, Istanbul, Turkey

³ Istanbul Medipol University, Research Institute for Health Sciences and Technologies (SABITA), Regenerative and Restorative Medicine Research Center (REMER), Beykoz, Istanbul, Turkey

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009437)

ATIF/REFERENCE: Ucisik, M.H. (2021). Replacement of Extrusion by Temperature-Controlled Ultrasonication in Emulsome Production. *European Journal of Science and Technology*, (28), 584-589.

Abstract

Emulsomes are lipid-based drug delivery systems comprising of a solid fat core surrounded by phospholipid multi-layers. Stability, prolonged release profile, biocompatibility and high encapsulation capacity for lipophilic compounds are their most prominent features. This study investigates the suitability of a temperature-controlled ultrasonication procedure to replace extrusion step that is widely applied for production and homogenization of emulsomes. In this study, emulsomes homogenized through ultrasonication were evaluated based on physicochemical properties including size, morphology and zeta potential. Temperature-controlled ultrasonication yielded production of tripalmitin-based emulsomes with size 285.6 ± 68.7 nm and zeta potential 31.6 ± 9.3 mV in average. Hexadecylamine in the phospholipid composition conferred the formulation a net positive surface charge. The morphology of emulsomes were investigated with scanning electron microscope. To further investigate whether ultrasonication alters the encapsulation capacity of emulsomes for lipophilic compounds, curcumin was added to the formulation as a model lipophilic substance. The physicochemical features as well as loading capacity of emulsomes produced with the introduced approach were compared with the values in the literature, where emulsomes of the same composition were homogenized through extrusion during their production. The results suggested that the control on temperature at ultrasonication benefited on emulsome production with high reproducibility in size and zeta potential and regarded as the solid feature of the proposed approach. In conclusion, the study provides evidence that the temperature-controlled ultrasonication methodology can safely replace the extrusion step as a robust, reliable approach for production of emulsomes.

Keywords: Emulsome, Ultrasonication, Homogenization, Lipid-based drug delivery systems.

Emülzom Üretimindeki Ekstrüzyon Uygulamasının Sıcaklık Kontrollü Ultrasonikasyon ile Değiştirilmesi

Öz

Emülzomlar, birden çok fosfolipid katmanı ile çevrili katı bir yağ çekirdeğinden oluşan lipit-bazlı ilaç iletim sistemleridir. Stabilitate, uzun süreli salım profili, biyouyumluluk ve lipofilik bileşikler için yüksek yükleme kapasitesi en belirgin özellikleridir. Çalışma, emülzomların üretimi ve homojenizasyonu için yaygın olarak kullanılan ekstrüzyon basamağı yerine sıcaklık kontrollü bir ultrasonikasyon prosedürünün uygunluğunu araştırmaktadır. Bu çalışmada ultrasonikasyon ile homojenize edilen emülzomlar, boyut, morfoloji ve zeta potansiyeli gibi fizikokimyasal özelliklere göre değerlendirilmiştir. Sıcaklık kontrollü ultrasonikasyon yöntemi ile, ortalama olarak 285.6 ± 68.7 nm ve zeta potansiyeli 31.6 ± 9.3 mV olan tripalmitin-bazlı emülzomların üretimi sağlanmıştır. Fosfolipid bileşimindeki heksadesilamin, formülasyona net bir pozitif yüzey yükü kazandırmıştır. Emülzomların morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Ultrasonikasyonun emülzomlara yüklenen lipofilik bileşiklerin miktarını değiştirip değiştirmediğini araştırmak için formülasyona lipofilik bileşik olarak kurkumin ilave edilmiştir. Bu şekilde üretilen emülzomların fizikokimyasal özellikleri ve yükleme kapasitesi, aynı bileşime sahip emülzomların üretimleri sırasında ekstrüzyon yoluyla homojenize edildiği literatürdeki değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ultrasonikasyonda sırasında sıcaklık üzerindeki kontrolün, boyut ve zeta potansiyeli açısından yüksek tekrarlanabilirlik ile emülzom üretimine uygulanan metodun önemli bir özelliği olarak katkı sağladığı görülmüştür. Netice itibarıyla elde edilen sonuçlar, sıcaklık kontrollü ultrasonikasyon metodolojisinin, emülzom üretimi için kullanılan ekstrüzyon uygulamasının yerini güvenle alabileceğine dair kanıt sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Emülzom, Ultrasonikasyon, Homojenizasyon, Lipit-bazlı ilaç iletim sistemleri.

1. Introduction

Composed of an internal solid fat core surrounded by phospholipid (PL) multilayers, emulsome corresponds to a solid lipid nanoparticle formulated with the lack of any surfactant (Amselem et al., 1994, 2018). Emulsome is distinguished from an emulsion by its core that is in solid or liquid crystalline phase rather than oil in a fluid phase (Amselem et al., 1994, 1997, 2018). The solid core, made of fat or triglyceride, offers higher loading capacity for lipophilic compounds compared to the capacity of emulsions made of a fluid core (Amselem et al., 2018; Ucisik et al., 2015a).

The phospholipid layers surround the solid core, thereby making the emulsome similar to a liposome with its surface characteristics (Amselem et al., 1994; Ucisik et al., 2015a). This likeness enables the use of all surface modification strategies that are applicable to liposomes also for emulsomes (Ucisik et al., 2013a, 2015a). This allows functionalization of emulsomes for various moieties to confer further abilities, e.g., passive or active cell targeting (Gupta & Vyas, 2007; Ucisik et al., 2013a, 2015b; Vyas et al., 2010).

Drug release from the solid matrix of emulsomes is degradation-dependent and slower than the diffusion-controlled release from emulsions (Amselem et al., 1997; M. Ucisik et al., 2015a). This ensures sustained release of the lipophilic compounds over a prolonged period of time out of the formulation (Bolat et al., 2020; Heiati et al., 1997; Ucisik et al., 2013b).

With a lipid composition lacking surfactants, emulsomes are regarded as safe (Bolat et al., 2020; Pal et al., 2012; Yilmaz et al., 2020). In the absence of surfactants, emulsomes could preserve a high stability profile, which is not only attributed to the solid character of the internal core, but also to the multi-lamellar character of the phospholipids embracing the core (M. Ucisik et al., 2015a). Besides, phospholipid to total lipid ratio (PL:TL) plays also an essential role for the stability and the size of the formulation (Amselem et al., 1994, 1997; Ucisik et al., 2015a). Emulsomes are formulated as a self-assembly, where the temperature regulates the interactions of amphiphilic PL molecules with the hydrophobic lipid molecules during the formation of the assembly. The level of accessibility for PL is critical in determining the final size of the emulsomes (Ucisik et al., 2015a). A high PL:TL ratio may lead to high multi-lamellarity inside the inner structure, while excess amount of PL may lead to formation liposomes as byproducts (Amselem et al., 1994; Ucisik et al., 2015). Therefore, the ratio must be optimized for stability of emulsomes, while preventing the formation of impurities such as liposomes or emulsions.

On the other hand, the size of emulsomes can be additionally adjusted by various homogenization methodologies following the production, among which extrusion is largely preferred (Amselem et al., 1994; Ucisik et al., 2015). This methodology implies multiple passing of the emulsomes through a filter membrane yielding product formation with narrow size distribution. The use of membranes with a variety of pore sizes may enable formation of final emulsome products with various mean sizes from nano scales to micro scales. This provides the researcher the ability to tune the size of the emulsomes depending on the requirements of their research. However, it is also known that a certain amount of the lipid gets stuck on the membrane filter, corresponding to a loss of materials in emulsome production. The material loss may be

occasionally non-trivial, in particular if the membrane pore sizes are chosen to be too small than the emulsomes primarily produced. Depending on the size requirements of the application or the presence of high-priced lipids or drug compounds, the extrusion process may become improper for emulsome production.

Addressing these limitations, this study investigates the suitability of temperature-controlled ultrasonication as an alternative to the mostly common extrusion methodology. Accordingly, the extrusion step of emulsome production was replaced with ultrasonication at a controlled temperature above the melting temperature of the lipids. Then the emulsomes were studied for their physicochemical properties such as size, zeta potential, polydispersity index (PDI), particle shape and surface morphology. To further investigate whether ultrasonication alters the encapsulation capacity of emulsomes, curcumin was added to the formulation as a model lipophilic compound. The physicochemical features as well as loading capacity of emulsomes produced with the introduced approach were compared with the values in the literature, where emulsomes were homogenized through an extrusion procedure for their production (Ucisik et al., 2013a, 2013b).

2. Material and Method

2.1. Materials

Glyceryl tripalmitate (tripalmitin, purity $\geq 99\%$), 1,2-dipalmitoyl-rac-glycero-3-phosphocholine (DPPC, $\geq 99\%$), cholesterol ($\geq 99\%$), hexadecylamine (HDA, $\geq 99\%$), curcumin were purchased from Sigma-Aldrich, Germany. Chloroform ($\geq 99.8\%$) was obtained from Fluka Chemika, Germany. Dimethyl sulfoxide (DMSO) was purchased from Fisher BioReagents, USA. All chemicals were used as received without further purification.

2.2. Production of Emulsomes

Emulsomes were produced applying the procedure described before with slight modifications (Ucisik et al., 2013a; Ucisik et al., 2013b). Accordingly, 80 mg tripalmitin with or without curcumin (32 mg) was dissolved in 1 ml chloroform. 8 mg DPPC, 4 mg cholesterol and 3.2 mg hexadecylamine with a molar ratio of 10:5:4 were dissolved separately in 1 ml of chloroform. Both lipid solutions were mixed by the help of a vortex and placed in a rotary flask in the rotary evaporator. Both lipid solutions were mixed, and the organic solvent was completely removed using a rotary evaporator (Rotavapor R-215, Büchi, Switzerland) under reduced pressure at 474 mbar and 60 °C. The formed dry film was hydrated with MilliQ water, the temperature was set to 80 °C and the solution was rotated until the pasty lipid film was resuspended. The obtained product was homogenized by ultrasonication bath at between 66-70 °C. Immediately after the ultrasonication, emulsome solution was placed on ice for 10 min. Emulsomes were stored at refrigeration temperature (4 °C) for storage.

2.3. Size and Zeta Potential Analysis

The mean particle size and zeta potential of emulsomes were determined by dynamic light scattering using a Zetasizer instrument (Nano ZS; Malvern Instruments, UK). Accordingly, samples were diluted in 1 mM KCl solution to suitable concentrations. All analyses were performed in the auto-measuring mode at 25°C. The average of triplicate analyses was recorded for each sample.

2.4. Size and Morphology Analysis with Scanning Electron Microscope (SEM)

The particular size of the emulsomes was further investigated with scanning electron microscopy (Zeiss EVO-HD -15; Germany) together with their shape and morphology. The pretreatment procedure comprised a short-term fixation where samples were placed on an aluminum holder and left at 4 °C overnight for drying. Dried samples were then treated with PBS buffer containing 2.5% glutaraldehyde for 15 minutes. Samples were washed three times with distilled water for 10 minutes. After gold sputtering (EM ACE200; Leica, Germany), samples were analyzed under the electron microscope.

2.5. Quantification of Curcumin encapsulated inside Emulsomes

The concentration of curcumin encapsulated inside emulsomes was estimated as described elsewhere (Bolat et al., 2020; Ucisik et al., 2013b; Yilmaz et al., 2020). A 1 mg/mL curcumin stock solution was prepared in DMSO. A standard curve, generated by successive dilution of the stock solution (5, 10, 20, 50, 100 µg/mL) in a 96-well microplate (NEST Scientific, Catalogue no. 701001, China), was used to determine curcumin concentrations in samples prepared by 1:10 dilution of emulsome suspension in DMSO. Sample absorbance was measured at 430 nm on a UV-vis spectrophotometer (Spectramax i3 Multi-Mode Microplate Reader Detection Platform; Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA). A standard curve was prepared from the values of standards. The curcumin concentrations of curcumin-loaded emulsomes were estimated by the readout of the absorbance intensity and corresponding concentration on the standard curve.

Table 1. Average size, zeta potential and PDI values of emulsomes prepared through homogenization with temperature-controlled ultrasonication

Name	Average Size (nm)	Average Zeta Potential (mV)	Average PDI
Emulsome	285.6 ± 68.7	31.6 ± 9.3	0.3 ± 0.1
Curcumin-loaded Emulsome	278.1 ± 70.4	27.2 ± 8.3	0.3 ± 0.1

3. Results

Average diameter and zeta potential of distinct emulsome formulations was determined as 285.8 ± 68.7 nm and 31.6 ± 9.3 mV (Table 1), respectively. Polydispersity index was found in average as 0.3 ± 0.1 . Size distribution curve showed that the particle sizes vary in a range between 50 and 600 nm (Figure 1), which was also confirmed by SEM analysis (Figure 2). SEM images displayed the spherical shape and smooth surface character of the emulsomes.

Encapsulation of negatively charged curcumin resulted in formation of emulsomes with an average size of 278.1 ± 70.4 nm and zeta potential of 27.2 ± 8.3 mV, where polydispersity index remained in average at 0.3 ± 0.1 (Table 1). The autofluorescence property of curcumin as the model lipophilic load in the system allowed analysis of emulsomes under confocal laser scanning microscope (Figure 3). The fluorescence emission confirmed curcumin's presence inside the emulsomes.

In aqueous environment, emulsomes were observed to have a dispersed behavior. No aggregation was observed in confocal laser scanning microscopy. Confirming the encapsulation, fluorescence signal of curcumin was visualized at each emulsome particle. Estimated by absorbance measurements, encapsulation of curcumin was achieved in average around 0.07 mg/mL (in the range of 0.5–0.9 mg/mL).

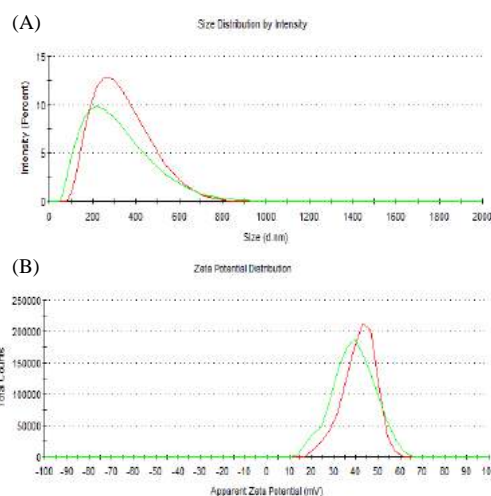


Figure 1. Zeta Sizer Data: (A) Size distribution and (B) zeta potential distribution curves of emulsomes. Green and red lines stand for emulsomes and curcumin-loaded emulsomes, respectively.

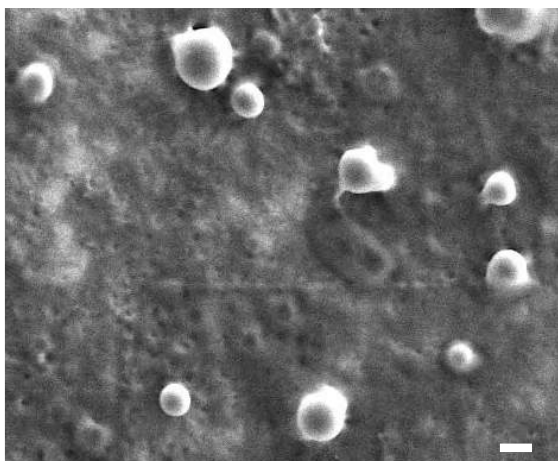


Figure 2. Scanning electron micrograph of emulsomes. Bar size corresponds to 500 nm.

4. Discussion

The presented study explores the suitability of the temperature-controlled ultrasonication as an alternative to extrusion and investigates, if the emulsomes produced through ultrasonication are comparable to those produced through standard extrusion methodology. Lipid composition of emulsomes included tripalmitin as the fat core, and DPPC, cholesterol and hexadecylamine as the constituents of phospholipid multilayer, with the same ratios that is used for emulsome production through extrusion previously in the literature (Ucisik et al., 2013a). The only parameter altered became the methodology for homogenization, or in other words, the replacement of extrusion with temperature-sensitive ultrasonication.

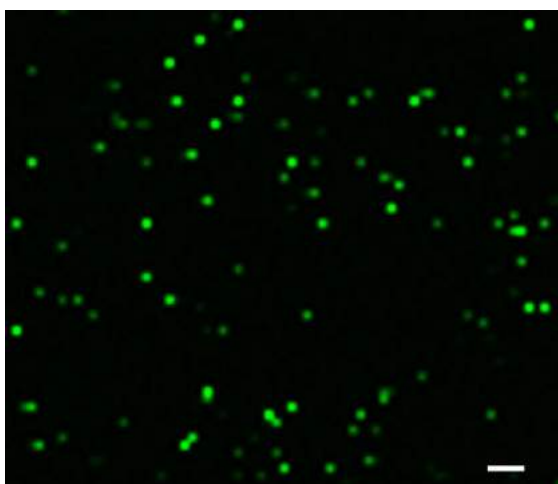


Figure 3. Confocal microscopy image of curcumin-loaded emulsomes. Size bar corresponds to 500 nm.

Emulsome products of temperature-controlled ultrasonication were assessed based on the physicochemical properties including size, zeta potential, polydispersity, morphology and loading capacity. DLS data estimated the average size of emulsomes as 285.6 ± 68.7 nm (Table 1), which is very comparable to the average values in the literature, i.e. between 268.1 – 298.0 nm (Ucisik et al., 2013a). While emulsome production is a self-assembly process, which the lipid composition and the temperature largely influences on with the size and multilamellarity of the product formed (Amselem et al., 1994, 2018; Ucisik et al., 2015a), the extrusion methodology

largely influences the shift of the average size underneath the size distribution curve, as previously reported (Ucisik et al., 2013a). Therefore, independent from the PL:TL ratio, the average size of the particles formed are tunable with the membrane's pore sizes. While smaller pore sizes allow the formation of smaller particles, choice of the pore sizes beneath a certain value may lead to loss of lipids stacked on the membrane in significant amounts. Ultrasonication, on the other hand, may provide a tuning in the particle formation by altering both the ultrasound power and the temperature applied (Siddiqui et al., 2014). In addition, additional sonication while cooling has been shown to increase the stability of lipid nanoparticle systems (Ban et al., 2014), which may further help maintenance for the sizes of emulsomes produced.

For lipid nanoparticles, zeta potential value is a parameter to evaluate the stability of the colloidal system (Shah et al., 2014). In the current study, hexadecylamine was used to confer a net positive surface charge to the emulsomes. The positive zeta potential value of emulsomes produced (31.6 ± 9.3 mV) were expected (Table 1), and a slight difference was apparent from the value for emulsomes of the same composition produced through extrusion earlier (i.e., 32.5 – 41.5 mV) (Ucisik et al., 2013a).

SEM analysis clearly demonstrated the size, shape and morphology of emulsomes (Figure 1). Similar to liposomes, the spherical shape and the smooth surface character displayed in SEM is considered to be a property resulting in as an outcome of having a phospholipid outermost surface (Amselem et al., 2018; Ucisik et al., 2015a). Confirming the DLS data, particle diameters were observed to vary between 100-700 nm. Particles with relatively small sizes appeared dark, while particles with larger sizes appeared brighter on the micrograph (Figure 1). Overall, the particles seem to have uniform character in both structure, shape and morphology, which further indicated that the applied ultrasonication methodology do not harm the particular integrity but eventually help the formation of spherical particles with uniformity. Uniformity has particular importance to obtain emulsomes with high purity. Formation of structurally different lipid particles such as 2D lipid bilayers, liposomes and micelles would be considered as impurities in the emulsome dispersions. This kind of impurities might stem from a non-optimum PL:TL ratio, which favors the assembly of lipids out of the excess PL or lipid (e.g., triglyceride) (Amselem et al., 1994, 2018; Ucisik et al., 2015a). For instance, excess concentrations of phosphatidylcholine as PL was reported to lead to formation of liposomes beside emulsomes as by-products (Paliwal et al., 2009). Besides, the production methodology is also important and should not cause disintegration of the particular structure. According to the SEM images, temperature-controlled ultrasonication procedure appears as a proper approach to homogenize emulsomes without interfering particle's integrity and purity.

Curcumin was selected as the model lipophilic compound to be incorporated into emulsomes. The choice of curcumin enabled the comparison of the the ultrasonication approach with the extrusion technique for emulsome production based upon their loading capacities. Curcumin-loaded emulsome formulations were previously reported and applied for different kind of disease models including cancer (Bolat et al., 2020; Ucisik et al., 2013a, 2013b, 2015a), neurodegenerative diseases (Yilmaz et al., 2020) and parasitic diseases such as Leishmaniasis (unpublished data). A side-by-side comparison of the formulations as product of different production methodologies is, however, for the first time available in the present study. The emulsomes produced in this study have exactly the same constituents with Ucisik et al. (2013),

also with the presence of hexadecylamine in its composition (Ucisik et al., 2013a, 2013b). This resemblance makes the head-by-head comparison of two different homogenization methodologies possible. Accordingly, the concentration of curcumin for emulsomes prepared by ultrasonication was in average around 0.07 mg/mL and the concentration varied between a range of 0.5–0.9 mg/mL for independent samples. Previously, Ucisik et al. (2013) reported that the extrusion methodology yielded encapsulation of curcumin inside emulsomes in average around 0.08 ± 0.02 mg/mL, which seems comparable to the present data (Ucisik et al., 2013b).

The auto-fluorescence properties of curcumin enabled visualization of curcumin inside emulsomes. Confocal microscopy images provided evidence for incorporation of curcumin inside the formulation and displayed that temperature-controlled ultrasonication methodology successfully yields a stable dispersed emulsome formulation in water (Figure 3). Additionally, the confocal microscopy investigations declined any substantial influence of the ultrasonication on dispersity of the emulsomes in water.

5. Conclusions and Recommendations

With its intrinsic features including the biocompatibility, high loading capacity, stability and prolonged release profile, emulsomes are promising drug delivery systems. Emulsomes are studied intensively for clinical use in various applications including viral (Ghosh et al., 2017; Vyas et al., 2010) and fungal/parasitic infections (Gill et al., 2011; Gupta et al., 2007; S. Gupta & Vyas, 2007; Kretschmar et al., 2001; Pal et al., 2012), dermal therapy (Gupta et al., 2016; Kommana et al., 2016; Raza et al., 2013, 2014), cancer (Alhakamy et al., 2020, 2021; Awan et al., 2020; Bolat et al., 2020; El-Zaafarany et al., 2018; Giri et al., 2017; Li et al., 2011; Rizk et al., 2021; Ucisik et al., 2013b), neurodegenerative diseases (Yilmaz et al., 2020) and autoimmunity (Lowell et al., 1997; VanCott et al., 1998; Wu et al., 2010). The physicochemical features of the formulation such as size, surface morphology, polydispersity and surface potential play essential role in fate of the nanoparticulate system in the applications. Purity and uniformity of emulsomes are there particularly important, which necessitates reproducible and robust production methodologies for its production.

As an alternative to extrusion homogenization method, that is widely utilized for emulsome production, temperature-controlled ultrasonication was examined in the presented study for its potential to yield emulsomes with the required characteristics. The presented data declines any significant influence of the ultrasonication on neither the amount of incorporated drug nor the size and dispersity of the emulsomes in water, and hence, provided evidence for suitability of temperature-controlled ultrasonication for emulsome production.

6. Acknowledge

The author thanks The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) for support under 2232 Postdoctoral Reintegration Fellowship Program with project number 115C022. The author also thanks to Dr. Hasan Kurt and Sabancı University Nanotechnology Research and Application Center (SUNUM) for providing support to SEM imaging.

References

- Alhakamy, N. A., Badr-Eldin, S. M., Ahmed, O. A. A., Asfour, H. Z., Aldawsari, H. M., Algandaby, M. M., Eid, B. G., Abdel-Naim, A. B., Awan, Z. A., & Alghaith, A. F. (2020). Piceatannol-loaded emulsomes exhibit enhanced cytostatic and apoptotic activities in colon cancer cells. *Antioxidants*, 9(5), 419.
- Alhakamy, N. A., Badr-Eldin, S. M., Aldawsari, H. M., Alfarsi, A., Neamatallah, T., Okbazghi, S. Z., Fahmy, U. A., Ahmad, O. A. A., Eid, B. G., Mahdi, W. A., Alghaith, A. F., Alshehri, S., & Md, S. (2021). Fluvastatin-Loaded Emulsomes Exhibit Improved Cytotoxic and Apoptosis in Prostate Cancer Cells. *AAPS PharmSciTech*, 22(5), 1–13.
- Amselem, S., Yogeve, A., Zawoznik, E., & Friedman, D. (1994). Emulsomes, a novel drug delivery technology. *Proceedings of the Controlled Release Society*, 21(21), 668–669.
- Amselem, S., & Friedman, D. (1997). Solid fat nanoemulsions. In *Solid Fat Nanoemulsions*. Google Patents.
- Amselem, Shimon, Zawoznik, E., Yogeve, A., & Friedman, D. (2018). Emulsomes™, a new type of lipid assembly. In *Handbook of Nonmedical Applications of Liposomes: Volume III: From Design to Microreactors* (pp. 209–223). CRC Press.
- Awan, Z. A., Fahmy, U. A., Badr-eldin, S. M., Ibrahim, T. S., Asfour, H. Z., Al-rabia, M. W., Alfarsi, A., Alhakamy, N. A., Abdulaal, W. H., Sadoun, H. Al, Helmi, N., Noor, A. O., Caraci, F., Almasri, D. M., & Caruso, G. (2020). The enhanced cytotoxic and pro-apoptotic effects of optimized simvastatin-loaded emulsomes on MCF-7 breast cancer cells. *Pharmaceutics*, 12(7), 1–22.
- Ban, C., Lim, S., Chang, P. S., & Choi, Y. J. (2014). Enhancing the stability of lipid nanoparticle systems by sonication during the cooling step and controlling the liquid oil content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(47), 11557–11567.
- Bolat, Z. B., Islek, Z., Demir, B. N., Yilmaz, E. N., Sahin, F., & Ucisik, M. H. (2020). Curcumin- and Piperine-Loaded Emulsomes as Combinational Treatment Approach Enhance the Anticancer Activity of Curcumin on HCT116 Colorectal Cancer Model. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8.
- El-Zaafarany, G. M., Soliman, M. E., Mansour, S., Cespi, M., Palmieri, G. F., Illum, L., Casettari, L., & Awad, G. A. S. (2018). A tailored thermosensitive PLGA-PEG-PLGA/emulsomes composite for enhanced oxcarbazepine brain delivery via the nasal route. *Pharmaceutics*, 10(4), 217.
- Ghosh, A., Kaur, C. D., Gupta, A., & Saraf, S. (2017). Surface engineered lamivudine loaded emulsome for targeting drug delivery to lymphatic system for effective treatment of hiv. *International Journal of Applied Pharmaceutical and Biological Research*, 2(1), 25–37.
- Gill, V., Kumar, M. S., Khurana, B., Arora, D., & Mahadevan, N. (2011). Development of Amphotericin B Loaded Modified Emulsomes for Visceral Leishmaniasis: In vitro. *International Journal of Recent Advances in Pharmaceutical Research*, 2, 14–20.
- Giri, T. K., Pramanik, K., Barman, T. K., & Maity, S. (2017). Nano-encapsulation of Dietary Phytoconstituent Capsaicin on Emulsome: Evaluation of Anticancer Activity Through the Measurement of Liver Oxidative Stress in Rats. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 17(12), 1669–1678.

- Gupta, R., Gupta, M., Mangal, S., Agrawal, U., & Vyas, S. P. (2016). Capsaicin-loaded vesicular systems designed for enhancing localized delivery for psoriasis therapy. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 44(3), 825–834.
- Gupta, S., Dube, A., & Vyas, S. P. (2007). Antileishmanial efficacy of amphotericin B bearing emulsomes against experimental visceral leishmaniasis. *Journal of Drug Targeting*, 15(6), 437–444.
- Gupta, S., & Vyas, S. P. (2007). Development and characterization of amphotericin B bearing emulsomes for passive and active macrophage targeting. *Journal of Drug Targeting*, 15(3), 206–217.
- Heiati, H., Tawashi, R., Shivers, R. R., & Phillips, N. C. (1997). Solid lipid nanoparticles as drug carriers I. Incorporation and retention of the lipophilic prodrug 3'-azido-3'-deoxythymidine palmitate. *International Journal of Pharmaceutics*, 146(1), 123–131.
- Kommana, N., & Babu, M. K. (2016). Formulation and evaluation of soyalecithin based emulsomes for topical administration of Lornoxicam. *Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology*, 4(1), 28–38.
- Kretschmar, M., Amselem, S., Zawoznik, E., Mosbach, K., Dietz, A., Hof, H., & Nichterlein, T. (2001). Efficient treatment of murine systemic infection with *Candida albicans* using amphotericin B incorporated in nanosize range particles (emulsomes). *Mycoses*, 44(7–8), 281–286.
- Li, H. Y., Xiao, Y. Y., Su, Z. G., Chen, X., & Ping, Q. N. (2011). Preparation and in vitro characterization of paclitaxel-loaded cationic nanoemulsomes for intratumoral drug delivery. *Chinese Journal of New Drugs*, 20(19), 8547–8555.
- Lowell, G. H., Kaminski, R. W., VanCott, T. C., Slike, B., Kersey, K., Zawoznik, E., Loomis-Price, L., Smith, G., Redfield, R. R., Amselem, S., & Birx, D. L. (1997). Proteosomes, emulsomes, and cholera toxin B improve nasal immunogenicity of human immunodeficiency virus gp160 in mice: Induction of serum, intestinal, vaginal, and lung IgA and IgG. *Journal of Infectious Diseases*, 175(2), 292–301.
- Pal, A., Gupta, S., Jaiswal, A., Dube, A., & Vyas, S. P. (2012). Development and evaluation of tripalmitin emulsomes for the treatment of experimental visceral leishmaniasis. *Journal of Liposome Research*, 22(1), 62–71.
- Paliwal, R., Paliwal, S. R., Mishra, N., Mehta, A., & Vyas, S. P. (2009). Engineered chylomicron mimicking carrier emulsome for lymph targeted oral delivery of methotrexate. *International Journal of Pharmaceutics*, 380(1–2), 181–188.
- Raza, K., Katare, O. P., Setia, A., Bhatia, A., & Singh, B. (2013). Improved therapeutic performance of dithranol against psoriasis employing systematically optimized nanoemulsomes. *Journal of Microencapsulation*, 30(3), 225–236.
- Raza, K., Shareef, M. A., Singal, P., Sharma, G., Negi, P., & Katare, O. P. (2014). Lipid-based capsaicin-loaded nano-colloidal biocompatible topical carriers with enhanced analgesic potential and decreased dermal irritation. *Journal of Liposome Research*, 24(4), 290–296.
- Rizk, S. A., Elsheikh, M. A., R Elnaggar, Y. S., & Abdallah, O. Y. (2021). Novel bioemulsomes for baicalin oral lymphatic targeting: development, optimization and pharmacokinetics. *Nanomedicine*, 16(22), 1983–1998.
- Shah, R., Eldridge, D., Palombo, E., & Harding, I. (2014). Optimisation and stability assessment of solid lipid nanoparticles using particle size and zeta potential. *Journal of Physical Science*, 25(1), 59–75.
- Siddiqui, A., Alayoubi, A., El-Malah, Y., & Nazzal, S. (2014). Modeling the effect of sonication parameters on size and dispersion temperature of solid lipid nanoparticles (SLNs) by response surface methodology (RSM). *Pharmaceutical Development and Technology*, 19(3), 342–346.
- Ucisik, M. H., Küpcü, S., Breitwieser, A., Gelbmann, N., Schuster, B., & Sleytr, U. B. (2015b). S-layer fusion protein as a tool functionalizing emulsomes and CurcuEmulsomes for antibody binding and targeting. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 128, 132–139.
- Ucisik, M. H., Küpcü, S., Debreczeny, M., Schuster, B., & Sleytr, U. B. (2013a). S-layer coated emulsomes as potential nanocarriers. *Small*, 9(17), 2895–2904.
- Ucisik, M. H., Küpcü, S., Schuster, B., & Sleytr, U. B. (2013b). Characterization of CurcuEmulsomes: Nanoformulation for enhanced solubility and delivery of curcumin. *Journal of Nanobiotechnology*, 11(1).
- Ucisik, M., Sleytr, U., & Schuster, B. (2015a). Emulsomes Meet S-layer Proteins: An Emerging Targeted Drug Delivery System. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 16(4), 392–405.
- VanCott, T. C., Kaminski, R. W., Mascola, J. R., Kalyanaraman, V. S., Wassef, N. M., Alving, C. R., Ulrich, J. T., Lowell, G. H., & Birx, D. L. (1998). HIV-1 neutralizing antibodies in the genital and respiratory tracts of mice intranasally immunized with oligomeric gp160. *Journal of Immunology (Baltimore, Md.: 1950)*, 160(4), 2000–2012. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9469464>
- Vyas, S. P., Subhedar, R., & Jain, S. (2010). Development and characterization of emulsomes for sustained and targeted delivery of an antiviral agent to liver. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 58(3), 321–326. doi: 10.1211/jpp.58.3.0005
- Wu, H. Y., Maron, R., Tukupah, A.-M., & Weiner, H. L. (2010). Mucosal Anti-CD3 Monoclonal Antibody Attenuates Collagen-Induced Arthritis That Is Associated with Induction of LAP + Regulatory T Cells and Is Enhanced by Administration of an Emulsome-Based Th2-Skewing Adjuvant. *The Journal of Immunology*, 185(6), 3401–3407. doi: 10.4049/jimmunol.1000836
- Yilmaz, E. N., Bay, S., Ozturk, G., & Ucisik, M. H. (2020). Neuroprotective effects of curcumin-loaded emulsomes in a laser axotomy-induced cns injury model. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 9211–9229. doi: 10.2147/IJN.S272931



Strongly \oplus -Locally Artinian Supplemented Modules

Burcu Nişancı Türkmen^{1*}

^{1*} Amasya University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, Amasya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7900-0529), burcu.turkmen@amasya.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009452)

ATIF/REFERENCE: Nişancı Türkmen, B. (2021). Strongly \oplus -Locally Artinian Supplemented Modules. *European Journal of Science and Technology*, (28), 590-593.

Abstract

The aim of this paper is to investigate strong notion of strongly \oplus -supplemented modules in module theory, namely strongly \oplus -locally artinian supplemented modules. We call a module M *strongly \oplus -locally artinian supplemented* if it is locally artinian supplemented and its locally artinian supplement submodules are direct summand. In this study, we provide the basic properties of strongly \oplus -locally artinian supplemented modules. In particular, we show that every direct summand of a strongly \oplus -locally artinian supplemented module is strongly \oplus -locally artinian supplemented. Moreover, we prove that a ring R is semiperfect with locally artinian radical if and only if every projective R -module is strongly \oplus -locally artinian supplemented.

Keywords: Strongly \oplus -supplemented modules, Strongly \oplus -locally artinian supplemented modules, Locally artinian modules, Locally artinian supplemented modules, Semiperfect rings.

Güçlü \oplus -Yerel Artin Tümlenmiş Modüller

Öz

Bu makalenin amacı, modül teorisinde güçlü \oplus -tümlenmiş modüllerin kuvvetlenişi olarak güçlü \oplus -yerel artin tümlenmiş modül kavramını araştırmaktır. Yerel artin tümlenmiş olan ve yerel artin tümleyen altmodülleri direkt toplam terimi olan M modülü güçlü \oplus -yerel artin tümlenmiş modül olarak adlandırırız. Bu çalışmada, güçlü \oplus -yerel artin tümlenmiş modüllerin temel özelliklerini sunuyoruz. Özellikle, güçlü \oplus -yerel artin tümlenmiş bir modülün her direkt toplam teriminin güçlü \oplus -yerel artin tümlenmiş modül olduğunu gösteriyoruz. Ayrıca, yerel artin radikale sahip bir R halkasının yarı mükemmel olması için gerek ve yeter koşulun her projektif R -modülün güçlü \oplus -yerel artin tümlenmiş modül olması olduğunu kanıtıyoruz.

Anahtar Kelimeler: Güçlü \oplus -tümlenmiş modüller, Güçlü \oplus -yerel artin tümlenmiş modüller, Yerel artin modüller, Yerel artin tümlenmiş modüller, Yarımükemmel halkalar.

* Corresponding Author: burcu.turkmen@amasya.edu.tr

1. Introduction

Throughout this paper, R will always denote an associative ring with identity element and modules will be left unital. Our terminology and notation adheres to that of the major references in the theory of rings and modules such as (Kasch,1982) and (Wisbauer,1991). $Rad(R)$ will be denote the Jacobson radical of the ring R . A submodule N of M will be shown that $N \leq M$. We will use the notation $U \ll M$ to stress that U is a *small submodule* of M . $Rad(M)$ and $Soc(M)$ will indicate radical and socle of M which are sum of all small submodule of M , and are sum of all semisimple submodule of M , respectively. A non-zero module M is called *hollow* if every proper submodule of M is small in M , and M is called *local* if the sum of all proper submodules of M is also a proper submodule of M . A ring R is called *local* if ${}_R R$ is a local module. A module M is called *locally artinian* if every finitely generated submodule of M is artinian (Wisbauer, 1991) in chapter 31. A submodule V of M is called a *supplement* of U in M if $M = U + V$ and $U \cap V \ll V$. The module M is called *supplemented* if every submodule of M has a supplement in M . A submodule U of M has *ample supplements* in M if every submodule V of M such that $M = U + V$ contains a supplement V' of U in M such that $M = U + V'$ contains a supplement V'' of U in M which is direct summand. We say N lies above K in M if $\frac{N}{K} \ll \frac{M}{K}$. Detailed studies about lifting modules can be found at the (Clark et al, 2012). As a proper generalization of lifting modules, Nebiyev and Pancar defined this way strongly \oplus -supplemented modules in (Nebiyev & Pancar, 2011). A supplemented module M is called strongly \oplus -supplemented if every supplement submodule of M is a direct summand in M . Then this definition is available in (Clark et al., 2012) as *weak lifting modules* and there exists basic properties of these modules.

2. Materials and Methods

In (Zhou & Zhang, 2011), Zhou and Zhang generalized the concept of socle of a module M to that of $Soc_s(M)$ by considering the class of all simple submodules of M that are small in M in place of the class of all simple submodules of M and $Soc_s(M)$ is a generalization of concept of socle as a submodule of M , that is $Soc_s(M) = \sum\{U \ll M | U \text{ is simple}\}$. It is clear that the inclusions $Soc_s(M) \subseteq Rad(M)$ and $Soc_s(M) \subseteq Soc(M)$ are hold. In (Kaynar et al, 2020), a module M is called *strongly local* if it is local and $Rad(M)$ is semisimple. A submodule U of M is called *ss-supplement* of U in M if $M = U + V$ and $U \cap V \subseteq Soc_s(V)$. The module M is called *ss-supplemented* if every submodule of M has an ss-supplement in M . A submodule U of M has *ample ss-supplements* in M if every submodule V of M such that $M = U + V$ contains an ss-supplement V' of U in M . The module M is called *amply ss-supplemented* if every submodule of M has ample ss-supplements in M . In (Şahin & Nişancı Türkmen, 2020), strongly local and (amply) ss-supplemented modules are generalized as RLA-local and (amply) locally artinian supplemented modules, respectively. A local module M is called *RLA-local* if $Rad(M)$ is a locally artinian submodule of M . A module M is called *locally artinian supplemented* if every submodule U of M has a locally artinian supplement in M , that is, V is a supplement of U in M such that $U \cap V$ is locally artinian. A module M is called *amply locally artinian supplemented* if every submodule U of M has ample locally artinian supplements in M . Here a submodule U of M has

ample locally artinian supplements in M if every submodule V of M such that $M = U + V$ contains a locally artinian supplement V' of U in M .

In section 3, as a strong notion of strongly \oplus -supplemented modules, we define strongly \oplus -locally artinian supplemented modules and provide the basic properties of strongly \oplus -locally artinian supplemented modules. Especially, we show that every direct summand of a strongly \oplus -locally artinian supplemented module is strongly \oplus -locally artinian supplemented in Proposition 3.4. In Theorem 3.7, we characterize the rings whose projective modules are strongly \oplus -locally artinian supplemented.

3. Strongly \oplus -Locally Artinian Supplemented Modules

In this section we explain the notion of strongly \oplus -locally artinian supplemented modules which we have introduced as a new concept by emphasizing its useful features.

Definition 3.1 A locally artinian supplemented module M is called *strongly \oplus -locally artinian supplemented* if every locally artinian supplement submodule of M is a direct summand.

It is clear that the following implications hold:

Strongly \oplus -locally artinian supplemented \implies strongly \oplus -supplemented

Lemma 3.2 Let M be a strongly \oplus -supplemented module and $Rad(M)$ is locally artinian. Then M is strongly \oplus -locally artinian supplemented.

Proof.

Clearly, M is supplemented. By (Şahin & Nişancı Türkmen, 2020) in Lemma 2.8, M is locally artinian supplemented because $Rad(M)$ is locally artinian. Let V be a locally artinian supplement in M . Therefore, we can write $M = U + V$ and $U \cap V \ll V$ for some submodule $U \leq M$. Since M is strongly \oplus -supplemented, V is a direct summand of M . It means that M is strongly \oplus -locally artinian supplemented. ■

Recall from [8, 41.13] that a module M is called π -projective if, for every submodules N, K of M and identity homomorphism. $I_M: M \rightarrow M$ with $M = N + K$, there exists a $\delta \in End(M)$ such that $Im(\delta) \leq N$ and $Im(I_M - \delta) \leq K$.

Lemma 3.3 Let M be a locally artinian supplemented and π -projective module. Then M is a strongly \oplus -locally artinian supplemented module.

Proof.

Since M is locally artinian supplemented and π -projective, M is amply locally artinian supplemented by (Şahin & Nişancı Türkmen, 2020) in Proposition 2.20. Let K be a locally artinian supplement of some submodule $N \leq M$. Since M is amply locally artinian supplemented, there exists a submodule N' of N such that $M = N + K = N' + K$, $N' \cap K \ll N'$ and $N' \cap K$ is locally artinian. It follows that N' and K are mutual supplements in M . By (Wisbauer, 1991) in chapter 41.14(2), we obtain that $K \cap N' = 0$. Therefore $M = N' \oplus K$. Thus M is strongly \oplus -locally artinian supplemented. ■

Proposition 3.4 Let M be a strongly \oplus -locally artinian supplemented module. Then every direct summand of M is strongly \oplus -locally artinian supplemented.

Proof.

Given $M = U \oplus V$. By (Şahin & Nişancı Türkmen, 2020) in Proposition 2.16, we deduce that U is locally artinian supplemented as a factor module of M . Let K be a locally artinian supplement of N in U . It is clear that K is a locally artinian supplement of $N \oplus V$ in M . Since M is strongly \oplus -locally artinian supplemented, we can write $M = K \oplus W$ for some submodule W of M . Then applying modular law, we obtain that $U = U \cap M = U \cap (K \oplus W) = K \oplus (U \cap W)$. Therefore K is a direct summand of U . Hence U is a strongly \oplus -locally artinian supplemented. ■

Theorem 3.5 Let M_i be projective module for every $1 < i < n$. Then $M = \bigoplus_{i \in I} M_i$ is strongly \oplus -locally artinian supplemented if and only if every M_i is strongly \oplus -locally artinian supplemented.

Proof.

(\Rightarrow) Since every M_i is a direct summand of M for $1 < i < n$, the proof follows from Proposition 3.4.

(\Leftarrow) Since every M_i is locally artinian supplemented for $1 < i < n$, M is locally artinian supplemented by [7, Corollary 2.15]. It follows from [8] that M is projective. Then M is π -projective by [1, 4.13]. So M is strongly \oplus -locally artinian supplemented by Lemma 3.3. ■

The next proposition explains which concepts in the literature coincide in π -projective modules whose radical is locally artinian.

Proposition 3.6 Let M be a π -projective module with $Rad(M)$ is locally artinian. Then the following statements are equivalent.

- (i) M is locally artinian supplemented;
- (ii) M is strongly \oplus -locally artinian supplemented;
- (iii) M is supplemented;
- (iv) M is strongly \oplus -supplemented.

Proof.

(i) \Rightarrow (ii) Since M is π -projective, the proof follows from Lemma 3.3.

(ii) \Rightarrow (i) Clear.

(i) \Leftrightarrow (iii) \Leftrightarrow (iv) Follows from [7, Lemma 2.22]. ■

Recall that dualizing the concept of an injective hull of a module, a *projective cover* of a module M is defined as to be an epimorphism $\alpha: P \rightarrow M$ such that P is a projective module and $Ker(\alpha) \ll P$. Thus modules having projective covers are, up to isomorphism, of the form $\frac{P}{K}$, where P is a projective module and K its small submodule. An R -module M is *semiperfect* if every factor module of M has a projective cover. If the ring R as an R -module is semiperfect then the ring R is semiperfect.

Theorem 3.7 For any ring R , the following statements are equivalent.

- (i) R is semiperfect and $Rad(R)$ is locally artinian;
- (ii) ${}_R R$ is locally artinian supplemented;
- (iii) ${}_R R$ is strongly \oplus -locally artinian supplemented;
- (iv) every projective R -module is strongly \oplus -locally artinian supplemented;
- (v) every projective R -module is locally artinian supplemented.

Proof.

By Lemma 3.2 and [7, Corollary 2.10]. ■

By categorizing a locally artinian supplemented module with the help of locally artinian supplement submodule, the following theorem to the strongly \oplus -locally artinian supplemented module.

Theorem 3.8 For a locally artinian supplemented module M , the following statements are equivalent.

- (i) M is strongly \oplus -locally artinian supplemented;
- (ii) every locally artinian supplement submodule of M lies above a direct summand;
- (iii) (a) every non-zero locally artinian supplement submodule of M contains a non-zero direct summand of M ;
- (b) every locally artinian supplement submodule of M contains a maximal direct summand of M .

Proof.

(i) \Rightarrow (ii) Obvious.

(ii) \Rightarrow (i) Let U be a submodule of M and V be a locally artinian supplement of U in M . By the hypothesis, there exist submodules $K, L \leq M$ such that $M = K \oplus L$, $K \leq V$ and $V \cap L \ll L$. Then $V = V \cap M = V \cap (K \oplus L) = K \oplus (V \cap L)$, we have $V \cap L \ll M$ and $M = U + V = U + K + (V \cap L) = U + K$. Since V is a locally artinian supplement of U , we obtain that $V = K$. Thus $M = V \oplus L$. Hence M is strongly \oplus -locally artinian supplemented.

(i) \Rightarrow (iii) Clear.

(iii) \Rightarrow (i) Let V be a locally artinian supplement of U in M . Suppose that $W \leq V$ and $M = W \oplus S$. Then $V = W \oplus (V \cap S)$ and $V \cap S$ is a locally artinian supplement of $U + W$ in M . If $V \cap S = 0$, then by (iii)-(a) there exists a non-zero direct summand T of M such that $T \leq V \oplus S$. Then we have $W \oplus T$ is a direct summand of M and $W \oplus T \leq V$. This contradicts the choice of W . Thus $V \cap S = 0$ and $V = W$. So V is a direct summand of M . Therefore M is strongly \oplus -locally artinian supplemented. ■

Recall that an integral domain R is a *Dedekind ring* (or *Dedekind domain*) if every non-zero ideal of R is invertible. Let R be a principal ideal domain. If R has the unique prime element, then R is called a *discrete valuation ring*. A discrete valuation ring, or DVR, is a local Dedekind ring. Let R be a discrete valuation ring and p be the unique prime element of R . Then every ideal of R is of the form Rp^k which $k \in \mathbb{Z}$. If we take these ideals to be neighborhoods of 0 in R , we define a topology in R , making R a topological ring. If R is complete in this topology, R is called a *complete discrete valuation ring*.

Finally, let's give an example of a strongly \oplus -supplemented module and but not strongly \oplus -locally artinian supplemented.

Example 3.9 Let R be a discrete valuation ring which not complete and K be a quotient field of R . Then $M = K^2$ is strongly \oplus -supplemented by [5, Example 2.1]. But M is not a strongly \oplus -locally artinian supplemented module because K is not locally artinian supplemented in [7, Example 2.7].

4. Conclusions and Recommendations

In this paper, we define new concept of the module class to specialize notion of strongly \oplus -supplemented modules and we give fundamental algebraic properties of these modules. Also, we characterize projective R -module over a semiperfect ring R by

using notion of strongly \oplus -locally artinian supplemented modules. Then we give a counter example which is a strongly

\oplus -supplemented module but not strongly \oplus -locally artinian supplemented.

References

- Clark, J., Lomp, C., Vanaja, N., & Wisbauer, R.. (2012). *Lifting Modules Supplements and Projectivity in Module Theory*. Basel. Boston. Berlin, Birkhauser Verlag.
- Kasch, F. (1982). *Modules and Rings*. London New York, Academic Press.
- Keskin Tütüncü, D., & Tribak, R. (2005). On lifting modules and weak lifting modules. *Kyungpook Math.J.*, 45:445-453.
- Kaynar, E. , Çalışıcı, H., Türkmen, E. (2020). SS-supplemented modules. *Communications Faculty of Science University of Ankara Series A1 Mathematics and statistics*, 69(1):473-485.
- Nebiyev, C., & Pancar, A. (2011). On strongly \oplus -supplemented modules. *Ukrainian Math.J.*, 63(5): 662-667.
- Sharpe, D.W., & Vámos, P. (1972). *Injective Modules*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Şahin, Y., & Nişancı Türkmen, B. (2020). Locally artinian supplemented modules. *9th International Eurasian Conference On Mathematical Sciences and Applications Abstract Book*, 26.
- Wisbauer, R. (1991). *Foundations of Modules and Rings*. Gordon and Breach, Springer-Verlag.
- Zhou, D.X., & Zhang, X.R. (2011). Small-essential submodules and morita duality. *Southeast Asian Bulletin of Mathematics*, 35: 1051-1062.
- Zöschinger, H. (1974). Komplemente als direkte Summanden, *Arch. Math.*, 25:241-243.



Toplu Taşımada Yatırım Kararlarının Veri Madenciliği Yöntemiyle Desteklenmesi

Nur Erdem^{1*}, Özlem Uzun Araz²

^{1*} Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4124-7507), 191203024@ogr.cbu.edu.tr

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5630-6170), ozlem.araz@cbu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009592)

ATIF/REFERENCE: Erdem, N. & Uzun Araz, Ö. (2021). Toplu Taşımada Yatırım Kararlarının Veri Madenciliği Yöntemiyle Desteklenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 594-601.

Öz

Akıllı şehir, son zamanlarda ülkemizde ve dünyada önem kazanan bir yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır. Daha iyi yaşam alanları oluşturmak ve hayata değer katan şehirler inşa etmek amacıyla akıllı şehir alanındaki çalışmalar ivme kazanmıştır. Şehirlerde yapılan bu çalışmalar sayesinde sosyal yaşam için sunulan imkân ve fırsatlar da gelişmektedir. Tüm insanlar bu imkân ve fırsatlardan eşit derecede yararlanma hakkına sahiptir ve sosyal yapı içinde gelişerek varlıklarını sürdürebilmelidir. Engelli bireylerin, sosyal yaşamda rolünü alması, sınırlarının genişletilmesi ve yaşamlarını engelsiz sürdürebilmeleri, ulaşılabilir çevre koşullarının sağlanabileceği planlama, tasarım ve engelli bireylerin gereksinimlerinin göz önünde bulundurulduğu uygulamalar ile mümkündür. Bu çalışmada, engelli bireylerin, kamuya ait İzmir ili şehir içi toplu taşıma otobüsleri ile sağlanan ulaşım imkânlarını ve konforlarını artırmaya yönelik yapılması planlanmış teknolojik yatırımların, hangi durak lokasyonlarına ve hangi otobüs hatlarına yapılması gerektiği, akıllı şehir uygulamalarından ve veri madenciliği yönteminden faydalanılarak araştırılmıştır. Akıllı kartlardan alınan veriler, veri madenciliği yöntemleriyle analiz edilerek engelli yolcuların kullandığı otobüs hatları ve duraklar, nitelikleri önceden belirlenmiş üç ayrı sınıfa ayrılmıştır. Planlanan yatırım adetleri göz önünde bulundurularak, yatırımın yapılacağı lokasyon ve hatlar, bu sınıfların niteliklerine göre belirlenmiştir. Veri madenciliği yöntemi ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak oluşturulan ABC sınıflandırmasının, toplu taşıma hizmeti veren kurumun daha sonraki yatırım planlamaları ve periyodik kontrol mekanizmaları için de faydalı olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: ABC sınıflandırması, AHP, Akıllı şehir, Planlama, Veri madenciliği, Yatırım.

Supporting Investment Decisions in Public Transport with Data Mining Method

Abstract

The smart city has recently come to the fore as an approach that has gained importance in our country and in the world. To create better living spaces and build cities that add value to life, studies in the field of smart cities have gained momentum. Owing to these studies carried out in cities, the opportunities and chances offered for social life are developing as well. All people have the right to benefit from these opportunities and chances equally and they should be able to develop and survive within the social structure. Disabled individuals taking their role in social life, expanding their borders and enabling them to continue their lives unhindered is possible with planning, design and practices that take into account the needs of disabled individuals, where accessible environmental conditions can be provided. In this study, the technological investments planned to be made to increase the transportation opportunities and comfort provided by public transportation buses in İzmir province to which locations and bus lines has been

* Sorumlu Yazar: 191203024@ogr.cbu.edu.tr

researched by using smart city applications and data mining method. Bus lines and stops used by disabled passengers have been divided into three classes with predetermined qualifications by analyzing the data taken from smart cards according to data mining methods. Considering the planned investment numbers, the locations and lines where the investment will be made are determined according to the characteristics of these classes. The ABC classification that is created by using the data mining method is expected to be useful for the public transport company's further investment planning and periodic control mechanisms.

Keywords: ABC classification, AHP, Smart city, Planning, Data mining, Investment.

1. Giriş

Kamu kaynaklarının etkin olarak kullanılarak, engelli bireyler gibi dezavantajlı gruplara yönelik daha fazla proje üretmeleri kamu kurumlarının en önemli sorumluluklarından biridir. Karşılaştığı engelleri aşamayan ve bu nedenlerle sosyal yaşam içinde yerini bulamayan engelli birey sayısı oldukça fazladır (Bekiroğlu 2002). Engelli bireylerin hem çalışma hayatında hem sosyal ortamlarda varlığını gösterebilmesi ve bu ortamlara erişebilirliğinin artırılması için engellilerin ulaşım imkânlarına yönelik yapılacak projeler büyük önem taşımaktadır. Bu projelere ayrılan kaynakların verimli kullanılması, sağlanan faydanın büyüklüğünü de artıracaktır. Yapılan yatırımlar sonucunda beklenen faydanın alınabilmesi için projenin doğru yönetilmesi, analizlerin uygun yöntemlerle gerçekleştirilmesi, gerekli mühendislik uygulamalarının kullanılması oldukça önemlidir.

Günümüzde akıllı şehir uygulamalarının artmasıyla birlikte kamu sektöründe de veri toplama araçları konusunda Endüstri 4.0 teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Kamuya ait toplu taşıma hizmeti veren firmalar, geçmişe dönük yolcu talep verilerini, geleneksel gözlem verileri yerine artık akıllı kartlardan elde etmektedirler.

Akıllı kart teknolojilerinin benimsenmesiyle birlikte ulaşım otomatik veri toplama sistemleri, sürekli olarak artan miktarda büyük veri tabanları oluşmasına sebep olmaktadır (Lee ve Kam 2014). Toplu taşıma planlamacılarının geleneksel yöntemlerle bu verileri yorumlaması gittikçe zorlaşmaktadır. Toplanan büyük verilerin anlamlı ve kullanılabilir hale getirilerek eyleme dönüştürülebilmesi için veri madenciliği yönteminden faydalanmak planlayıcılar ve yöneticiler için kolaylık sağlamaktadır.

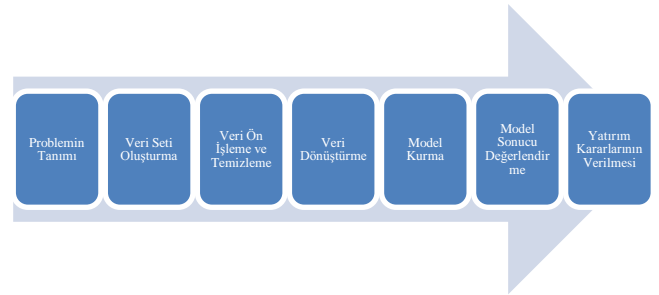
Literatüre bakıldığında, birçok akıllı şehir projesinde veri madenciliği yönteminden faydalandığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, kentsel genişlemeye etki eden faktörler, veri madenciliği yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir (You ve Yang 2017). Ulaşım alanında yapılan bir çalışmada, toplu taşımadaki yolcu biniş tercihleri ve yolcu sayısını tahminlemek amacıyla coğrafi ve hava durumu bilgileri kullanılarak veri madenciliği çalışması yapılmıştır (Zhang ve diğer. 2016). Yine ulaşım alanında yapılan bir çalışmada, makine öğrenimi ve veri madenciliği yöntemleri kullanılarak, sınırlı sayıdaki trafik kamerasını doğru yerlere konumlandırıp şehirdeki araç sayısını en doğru tahminleyecek model oluşturulmaya çalışılmıştır (Zhuang ve diğer. 2009). Bursa ilinde yapılan bir çalışmada, toplu taşıma kullanan öğrencilerin, toplu taşıma ile gerçekleştirdikleri hareketleri, veri madenciliği yöntemiyle analiz edilerek yeni rotalar üretilmiş ve mevcut rota ile etkinlik, verimlilik kıyaslamaları gerçekleştirilmiştir (Yılmazdamar 2019). Bir çalışmada, yeni ürün tavsiye metodolojisi geliştirmek için veri madenciliği yöntemi kullanılmıştır. Müşteriler kümeleme yöntemiyle gruplandırılmış ve AHP yöntemiyle bu kümeler önceliklendirilerek veri madenciliği ve AHP yöntemi

birbirini destekleyici olarak kullanılmıştır (Liu ve Shih 2005). TV üreticisi bir firmada yapılan çalışmada; firmanın müşteri tabanı, veri madenciliği yöntemi kullanılarak benzer özellikler gösteren müşteri gruplarına bölünmüştür ve bulanık AHP yöntemi ile bu grupların görece önemleri bulunmuştur (Güçdemir 2013).

Bu çalışmada, İzmir ilinde büyük şehir belediyesine bağlı olarak toplu taşıma hizmeti veren ESHOT Genel Müdürlüğü'nün engelli bireylere yönelik olarak yapmayı planladığı, otobüs dış hoparlör sistemi, otobüs içi ve durak içi akıllı bilgilendirme ekranı yatırımlarının verimli kullanımının sağlanması için veri madenciliği yöntemi ile analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Akıllı ulaşım kartlarından alınan 2021 yılına ait Ocak-Nisan ayı verileri analiz edilerek, engelli bireyler tarafından tercih edilen otobüs hattı ve duraklar için veri madenciliği yöntemiyle talebe yönelik ABC sınıflandırması yapılmıştır. Planlanan yatırım adetlerine bağlı olarak, belirlenen sınıfların içerisinde yer alan hat ve durakların nitelik değerlerinin büyüklüğüne göre yatırım yapılacak otobüs hattı ve durak lokasyonlarına karar verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Öncelikli olarak engelli bireylere yarar sağlamak amacıyla yapılması planlanan, akıllı şehir sistemi yatırım kararlarının destekleneceği bu çalışmada kullanılan başlıca yöntemler; veri madenciliği, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ABC analizidir. Bu çalışmada Şekil 1'de gösterilen iş akışı uygulanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada uygulanan iş adımları

2.1. Problemin Tanımlanması

İzmir ilinde yaşamını sürdüren engelli bireylerin, ESHOT Genel Müdürlüğü'ne ait toplu taşıma otobüsleri ile gerçekleştirecekleri ulaşımı engelsiz hale getirmek, ulaşım konforlarını ve erişebilirlik imkânlarını artırmak amacıyla 100 adet otobüse dış hoparlör sistemi takılması ve 900 adet otobüs içerisine, hem sesli hem görsel uyarı yapan akıllı bilgilendirme ekranı takılması, ilaveten 500 adet durağa da hem sesli hem görsel uyarı yapan akıllı bilgilendirme ekranı yatırımı yapılması planlanmaktadır. Dış hoparlör sistemi öncelikli olarak görme engelli yolculara, akıllı bilgilendirme ekranı ise öncelikli olarak görme ve/ veya işitme engelli yolculara kolaylık sağlayacaktır. Yatırımların en fazla sayıda engelli yolcuya fayda

sağlayabilmesi için belirtilen akıllı sistemlerin yerleştirileceği otobüs hattı ve durakların seçilmesi kritik önem taşımaktadır.

“Dış hoparlör sistemi” ve “akıllı bilgilendirme ekranı” yatırımlarının, hangi otobüs hattına kaç adet takılacağı ve hangi duraklara yerleştirileceği sorularının yanıtlanması için akıllı yolcu kartlarından alınan verilerin bulunduğu veri tabanı kullanılarak, veri madenciliği yönteminin kullanılması uygun bulunmuştur.

2.2. Veri Seti Oluşturma

Bu çalışmada kullanılan veri seti, ESHOT Genel Müdürlüğü tarafından depolanan yolcu veri tabanından temin edilmiştir. Veriler, yolcuların toplu taşıma araçlarına binerken kullandığı akıllı kartlardan elde edilmektedir. Çalışmadaki hesaplamalarda, 2021 Ocak-Nisan ayları arasındaki engelli yolcu biniş verileri kullanılmıştır. Büyük veri tabanı içerisinde; 5.116.670 örnek ve 5 öznitelik seçilmiştir. Seçilen öznitelikler ve açıklamaları aşağıdaki Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Veri setinden elde edilen öznitelikler ve açıklaması

Öznitelik	Açıklaması
Mifareid	Kullanıcı kartına ait kart numarası
Engel Türü	Engelli bireyin hangi engele sahip olduğu bilgisi
Gün	Yolculuğun yapıldığı gün/ay/yıl bilgisi
Hat No	Engelli yolcunun biniş yaptığı toplu taşıma aracı numarası
Durak ID	Engelli yolcunun toplu taşıma aracına biniş yaptığı durağın numarası

2.3. Veri Ön İşleme ve Temizleme

Veri temizleme; eksik verileri düzenleme, gürültülü veya sapan verileri, çalışma için anlam ifade etmeyen verileri uzaklaştırma işlemidir. Bilgi keşfinin bu basamağı veri setinin güvenilirliğini artırır (Gemici 2012).

Veri ön işleme ve temizleme adımı; özniteliklerin her biri değerlendirilerek aykırı ve eksik veriler tespit edilmiştir. “Gün”, “hat no”, “durak id” bilgisi bulunmayan “mifareid” kayıtları elenmiştir, engel türü bilgisi bulunmayan kayıtlar ise “genel engel türü” olarak tamamlanmıştır.

Akıllı yolcu kartlarından alınan veriler tüm toplu taşıma araçlarına binişleri kapsamaktadır. Otobüs harici binişler veri setinden ayıklanmıştır. Toplam 1.383.828 satır veri silinmiştir. Geriye kalan 3.732.842 veriyle çalışmaya devam edilmiştir.

2.4 Veri Dönüştürme

Veri dönüştürme; hazır ve gelişmiş veri madenciliği için daha iyi veri üretmek amacıyla uygulanır ve bu adım bütün veri keşif süreci için çok kritiktir (Akpınar 2000).

Veri dönüştürme adımı; veri setinde bulunan öznitelikler modelde kullanmak için anlamlı hale getirilmiştir. Gün/ay/yıl olarak belirtilmiş olan binişin yapıldığı tarih bilgisi, gün bazına indirgenmiştir. Örneğin: 12/03/2021 verisi Cuma gününe denk geldiği için “Gün” özniteliğinin bulunduğu hücre değeri, “Cuma” olarak değiştirilmiştir. Bu dönüşüm sayesinde, engelli yolcu biniş taleplerinin gün bazında değerlendirilmesine imkân sağlanmıştır.

Engelli yolcu biniş verilerinin haftanın 7 günü bazında ayrı ayrı analiz edilmesi, haftanın farklı günlerinde lokasyonlara olan gidiş talep değişkenliklerinin analiz edilmesini mümkün kılar. Bu sebeple; veri analizi sonuç değerlendirme aşamasında ayırt edilebilirliğin sağlanması için “Hat No” verisi gün bilgisiyle birleştirilmiştir. Örneğin, Pazartesi günü “Hat No” 100 olan bir biniş kaydında artık “Hat No” hücresinde “100d1” görülmektedir. “d1”, Pazartesi gününü temsil eden metin ifadesidir. Haftanın diğer günleri için; Salı “d2”, Çarşamba “d3”, Perşembe “d4”, Cuma “ d5”, Cumartesi “d6”, Pazar “d7” ile ifade edilmektedir.

Yatırım kararlarının verilmesinde “engel türü” bilgisi ve o engel türüne ait yolcuların tercih ettiği otobüs hatları kritik önem taşımaktadır. Bu sebeple, otobüslere yapılacak yatırımların karar çalışması için; sütunda hat numaraları, satırlarda engel türü bilgisi olacak şekilde otobüs hatlarına günlük biniş sayılarının bulunduğu matris hazırlanmıştır. Otobüs duraklarına yapılacak yatırım lokasyonları kararı için ise satır kısmında engel türü sütun kısmında “Durak id” özniteliği olacak şekilde duraklardan biniş adetlerinin bulunduğu matris oluşturulmuştur. Sütundaki hat numarası ya da durak id ye karşılık gelen engelli biniş sayıları, 2021 Ocak-Nisan ayları arasındaki 4 aylık toplam biniş sayısını ifade etmektedir.

Otobüslerin üzerindeki hat numaralarının günlük olarak değiştirilmesi mümkündür. Bu sebeple otobüs hatlarına olan talep gün bazında değerlendirilerek talep değişkenliği analiz edilmiştir. Dış hoparlör sistemi yatırımında gün bazlı değerlendirmenin yapıldığı bir model kurulurken, akıllı bilgilendirme ekranı yatırımları için gün bazlı değerlendirmeye gerek duyulmamıştır.

Pazartesi gününe ait hazırlanmış, otobüs araçlarına özel veri tablosundan bir örnek alan Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Otobüs yatırımları için dönüştürülmüş veri matrisi

Gün	Çoklu Engel	Dil ve Konuşma Engeli	Görme Engeli	İşitme Engeli	Toplam (Tüm Engel Türleri Dahil)
102d1	327	2	30	27	969
104d1	906	23	128	143	3404
105d1	953	34	231	146	3481
108d1	382	3	63	69	1375
10d1	291	2	64	22	1495
111d1	633	6	136	105	2885

Duraklara yerleştirilecek akıllı bilgilendirme ekranı yatırımına özel oluşturulmuş veri tablosundan bir örnek alan Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 3. Durak yatırımları için dönüştürülmüş veri matrisi

Durak ID	Çoklu Engel	Dil ve Konuşma Engeli	Görme Engeli	İşitme Engeli	Kronik Rahatsızlık
10005	273	6	35	37	313
10007	1583	10	181	341	1462
10008	1081	15	163	112	829
10009	909	10	162	145	795
10010	537	17	108	85	438

2.5 Model Kurma

Model kurma adımı; veri madenciliği analiz programında çözümlenecek model kurulmuş ve çözüm algoritması seçilmiştir.

2.5.1. Modelin Kurulması

Dış hoparlör sisteminin kurulacağı otobüs hatlarının belirlenmesi, akıllı bilgilendirme ekranının yerleştirileceği otobüs hatlarının belirlenmesi, akıllı bilgilendirme ekranlarının yerleştirileceği durak lokasyonlarının belirlenmesi kararları için 3 ayrı model oluşturulmuştur:

Model 1: Dış hoparlör sisteminin kurulacağı otobüs hatlarının belirlenmesi

Model 2: Akıllı bilgilendirme ekranının yerleştirileceği otobüs hatlarının belirlenmesi

Model 3: Akıllı bilgilendirme ekranlarının yerleştirileceği durak lokasyonlarının belirlenmesi

Her modele özel nitelikler belirlenmiştir. Belirlenen nitelikler, kullanıldığı model ve açıklamaları Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Modellerde kullanılan nitelikler ve açıklamaları

Nitelik	Açıklama	Kullanıldığı Model
Görme Engelli Talebi	Belirtilen günde yolculuk yapan görme engelli bireylerin belirtilen hattı tercih etme oranıdır.	Model 1
Görme ve İşitme Engelli Talebi	Belirtilen günde yolculuk yapan görme ve işitme engelli bireylerin belirtilen hattı/ durağı tercih etme oranıdır.	Model 2 Model 3
Tüm Engelli Talebi	Belirtilen günde yolculuk yapan engelli bireylerin belirtilen hattı/ durağı tercih etme oranıdır.	Model 1 Model 2 Model 3
Tüm Yolcu Talebi	Belirtilen otobüs hattının belirtilen gündeki sefer sayısıdır.	Model 1 Model 2

Nitelikler belirlenirken yapılacak yatırımdan etkilenecek yolcu sınıfları dikkate alınmıştır. Engelsiz bireylerin biniş kayıtları gizli veri niteliğinde olmasından dolayı, biniş adetleriyle orantılı olduğu belirtilen, otobüs hattı günlük sefer sayıları kullanılmıştır.

Nitelikler ve nitelik değerlerinin belirlenmesinin ardından verilerin normalizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Model 1'e ait normalize edilmiş veri tablosundan bir örnek alan Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. Model 1 normalize edilmiş veri tablosu

Hat No	Görme Engelli Talebi	Tüm Engelli Talebi	Tüm Yolcu Talebi
23d1	0,7041	0,7649	0,7356
18d1	0,7435	0,7456	0,5862
42d1	0,5943	0,5951	0,8276
46d1	0,6091	0,5543	0,8314
550d1	0,6905	0,5165	0,7739

2.5.2. Çözüm Algoritmasının Belirlenmesi

Yatırım yapılacak sistemlerin atanacağı otobüs hattı ve durakların belirlenmesi için hazırlanan veri setinin k-means algoritması kullanılarak çözümlenmesi ve 3 sınıfa ayrılmasına karar verilmiştir.

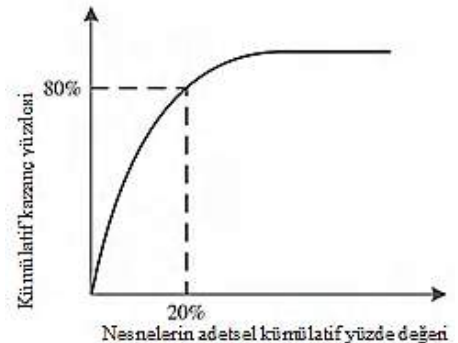
K-means yöntemi, en yaygın kullanılan gözetimsiz öğrenme yöntemlerinden biridir. K-means'in atama mekanizması, her verinin sadece bir kümeye ait olabilmesine izin verir (Evans ve diğer. 2005). K-means algoritmasının genel mantığı n adet veri nesnesinden oluşan bir veri kümesini, giriş parametresi olarak verilen k adet kümeye bölümlenektir. Amaç, gerçekleştirilen bölümlenme işlemi sonunda elde edilen kümelerin, küme içi benzerliklerinin maksimum ve kümeler arası benzerliklerinin minimum olmasını sağlamaktır. Çalışmada; tıp alanında yapılan bir veri madenciliği uygulamasında kullanılmış olan, (1) numaralı Öklit uzaklığı formülü temel alınarak kümeleme yapılmaktadır (Dinçer 2006).

$p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ ve $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ olmak üzere;

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (1)$$

Veri setinde bulunan nesnelere 3 kümeye ayrıldıktan sonra AHP yöntemi ile sınıfların ağırlık değerleri hesaplanarak en yüksek ağırlık değerine sahip olan kümenin A sınıfı, sonra B ve en düşük ağırlık değerine sahip olan kümenin ise C sınıfı olarak adlandırılmasına karar verilmiştir. Otobüs hatları ve duraklar için ABC analizinin yapılması, toplu taşıma hizmeti veren kuruma daha sonraki yatırım kararlarında, planlama ve denetim konularında da fayda sağlayacağı düşünülmüştür.

ABC Analizi, pareto ilkesine dayanır ve hem nicel hem nitel sınıflandırmaya imkân tanır. ABC analizi, sınıflandırılacak nesnelere 3 alt gruba ayırmaktadır. A Grubu'na ait olanlar organizasyon için önemli unsurlardır. B Grubu'na ait olanlar orta düzeyde bir öneme sahiptir. C Grubu'nda bulunanlar ise organizasyon için en az öneme sahip olanlardır (Kıyak ve diğer. 2016). Genellikle en önemli grup, pareto ilkesi olarak nesnelere %20'sinde bulunur. Şekil 2'de görülen grafikte pareto ilkesinin nesnelere üzerindeki zihniyeti gösterilmiştir (Chen 2012).



Şekil 2. ABC analizi pareto ilkesi

Örnek olarak, duraklar için oluşturulmuş A-B-C sınıflarının nitelikleri Tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 6. A-B-C sınıflarına ait nitelikler

Sınıf	Özellikler	Durak Planlama/Yönetim Politikası
A	Görme ve işitme engelliler yüksek sıklıkta kullanıyor. Engelli bireyler sıklıkla kullanıyor.	Otobüs durak atamaları yüksek sıklıkla kontrol edilmeli. Duraklardan geçen otobüs hatlarının günlük sefer sayısı uygunluk kontrolü yüksek sıklıkta yapılmalı. Duraklardan geçen otobüs hatlarının plana uyum oranı yüksek tutulmalı. Engelli bireylere fayda sağlayabilecek yatırımlarda yüksek öncelik verilmeli.
B	Görme ve işitme engelliler sıklıkta kullanıyor. Engelli bireyler orta sıklıkta kullanıyor.	Otobüs durak atamaları orta sıklıkla kontrol edilmeli. Duraklardan geçen otobüs hatlarının günlük sefer sayısı uygunluk kontrolü orta sıklıkta yapılmalı. Engelli bireylere fayda sağlayabilecek yatırımlarda orta öncelik verilmeli.
C	Görme ve işitme engelliler orta ve düşük sıklıkta kullanıyor. Engelli bireyler düşük sıklıkla kullanıyor.	Otobüs durak atamaları düşük sıklıkla kontrol edilebilir. Duraklardan geçen otobüs hatlarının günlük sefer sayısı uygunluk kontrolü düşük sıklıkta yapılabilir. Engelli bireylere fayda sağlayabilecek yatırımlarda düşük öncelik verilmelidir.

2.6 Model Sonrası Değerlendirme

Excel tabanlı Xlstat veri madenciliği programı kullanılarak model çözümlenmiştir. Model 1, Model 2 ve Model 3’te yer alan nesnelere 3 kümeye ayrılmıştır.

2.6.1. Model Performans Değerlendirmesi

K-means algoritmasının doğruluk ve performansı, büyük ölçüde ilk küme merkezlerine bağlıdır. K-means kümeleme algoritmasının ana amacı, küme içi varyasyon (SSW) değerinin minimize edilmesi, kümeler arası varyasyon (SSB) değerinin maksimize edilmesidir (Gupta ve Chandra 2019). SSW değerinin SSB değerinden küçük olması kümeleme algoritmasının doğru çalıştığını gösteren önemli bir ölçüttür. Çalıştırılan modellerin tümünde, küme içi varyasyon değerinin, kümeler arası varyasyon değerinden küçük olmasından dolayı modelleme sonucu başarılı olarak değerlendirilmiştir. Model 1 Pazartesi gününe ait çalıştırılan algoritmanın, Model 2 ve Model 3 algoritmalarının sonuç raporunda görülen SSW ve SSB değerleri Tablo 7’de görülmektedir.

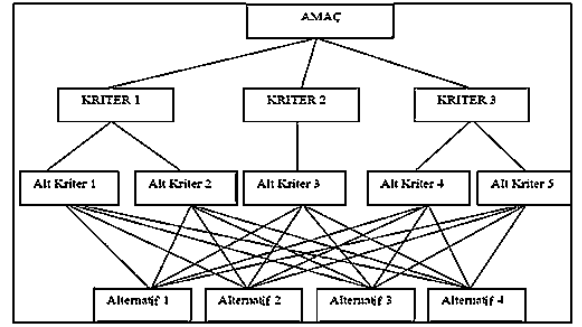
e-ISSN: 2148-2683

Tablo 7. Modellerin SSW- SSB değerleri

Model No	SSW	SSB
Model 1 (Pazartesi)	%21,40	%78,60
Model 2	%21,15	%78,85
Model 3	%23,43	%76,57

2.6.2. ABC Sınıflarının Belirlenmesi

Model 1, Model 2 ve Model 3 veri setindeki nesnelere k-means algoritması ile 3 kümeye ayrılmıştır ancak belirlenen kümelerin hangisinin daha öncelikli olduğu bilgisi k-means algoritması ile belirlenmemektedir. Kümelerin birbirine göre önceliğinin belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemine başvurulmuştur. AHP yöntemi; birden çok kriteri göz önüne alarak ve bu kriterlere önem veya üstünlük tanımlayarak çeşitli alternatifler arasından seçim yapmayı sağlayan birçok kriterli karar verme yöntemidir (Gülenç ve Bilgin 2010). AHP yönteminin amacı, verilen alternatifler için onlarla bağlantılı önceliklerin bir skalaya konularak, karar vericinin sezgisel yargılarını ve alternatiflere ait karşılaştırma tutarlılığını da dikkate alarak, bu sürecin en etkin şekilde tamamlanmasını sağlamaktır (Özyörük 2008). AHP’nin 4 aşamalı genel hiyerarşik yapısı Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Genel hiyerarşik yapısı

Modelde kullanılan nitelikler; Tablo 8’de görülen AHP Standart Önem Skalasına göre derecelendirilerek niteliklerin ağırlık değerleri belirlenmiştir (Saaty 2008). Model 1’e ait nitelikler için oluşturulan karşılaştırma matrisi ve hesaplanan ağırlık değerleri Tablo 9’da görülmektedir.

Tablo 8. Standart tercih tablosu

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2,4,6 ve 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Tablo 9. Nitelik karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri

Nitelik	N1 (Görme Engelli Talebi)	N2 (Tüm Engelli Talebi)	N3 (Tüm Yolcu Talebi)	Ağırlık Değeri
N1	1	3	5	0,63
N2	0,33	1	3	0,26
N3	0,20	0,33	1	0,11

Modelin k-means algoritmasıyla çözümlenmesi sonucu alınan rapordan elde edilen kümelerin “küme merkezi (class centroid)” değerleri, niteliklerin ağırlık değerleri ile çarpılarak kümelerin ağırlıklı toplamları hesaplanmış ve en yüksek değere sahip küme A sınıfı, ikinci yüksek değere sahip küme B sınıfı, diğer küme ise C sınıfı olarak belirlenmiştir. Model 1, Pazartesi günü için uygulanmış örnek ABC sınıflandırma hesaplaması Tablo 10’da görülmektedir.

Tablo 10. Kümeler arasında ABC sınıflandırması

Küme	Görme engelli talebi	Tüm engelli talebi	Tüm yolcu talebi	Ağırlık	Sınıf
1	0,416	0,428	0,625	0,147	A
2	0,121	0,149	0,354	0,051	B
3	0,022	0,030	0,100	0,011	C

Benzer hesaplama tüm modeller için uygulanmış ve kümelere A-B-C sınıflandırması yapılmıştır.

2.6.2. Günlere Göre Model Sonucunun Karşılaştırması

Model 1’de haftanın 7 günü için 7 ayrı veri seti modeli çalıştırılmıştır. Haftanın her bir günü için ABC sınıflandırması yapılmış ve her güne ait sınıfların içerisine atanmış olan hatlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Talebin en yüksek olduğu ve yatırımın büyük kısmını karşılayacak A sınıfına ait karşılaştırma Tablo 11’de görülmektedir. En yüksek hat sayısına sahip Cuma gününe atanmış 52 hattın diğer günlerdeki hat numaralarını barındırma oranı hesaplanarak uyum oranına ulaşılmıştır.

Tablo 11. Günler arasında A sınıfına seçilen hatların benzerlik oranı

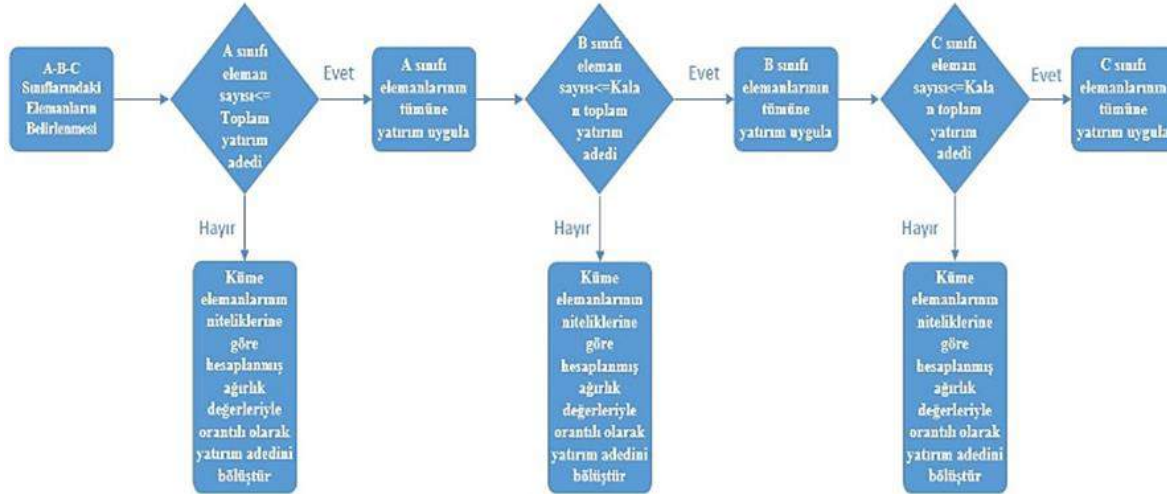
Gün	A Sınıfı Hat Sayısı	Uyum Oranı
Pazartesi	51	100%
Salı	47	100%
Çarşamba	49	100%
Perşembe	47	100%
Cuma	52	100%
Cumartesi	46	98%
Pazar	34	82%

Tablo 11’de görüldüğü üzere hafta içi günleri arasındaki uyum %100 ve hat sayıları birbirine oldukça yakın bulunurken hafta sonu günlerinde (Cumartesi, Pazar) farklılık görülmektedir. Bu sebeple Model 1’de çözümlenen dış hoparlör sistemi yatırımı için; taşıma hizmeti veren kuruma planlamada iş yükü getirmemesi amacıyla, hafta içi günlerinin atama adetlerinin ortalaması alınarak, her gün için hoparlör sistemi yatırım kararlarının ortaklaştırılması uygun bulunmuştur.

2.7 Yatırım Kararlarının Verilmesi

Yatırım adetlerinin ABC sınıfları içerisindeki otobüs ve duraklara atanması işlemi için Şekil 4’te görülen algoritma oluşturulmuştur.

Otobüs hat numaralarına ait günlük araç sayısı verileri veri setine eklenerek, Model 1 ve Model 2 için kümelerin içerisinde yer alan nesne sayısı güncellenmiştir. Örneğin: Tablo 12’de görüldüğü üzere, A sınıfında yer almakta olan 680 numaralı hatta ait toplam 26 adet toplu taşıma aracı bulunmaktadır.



Şekil 4. Yatırım atama algoritması

Tablo 12. Sefere çıkan günlük araç adedi verisi

Sınıf	Hat No	Otobüs Hattı Sefere Çıkan Araç Sayısı
A	680	26
A	23	12
A	42	14

Model 1, Model 2, Model 3 için ABC sınıflarında bulunan nesnelerin toplam adetleri Tablo 13’te görülmektedir. Model 1 için hafta içi günlerinin ortalama değeri belirtilmiştir.

Tablo 13. A-B-C sınıflarındaki hat, araç ve durak adetleri

Sınıf	Model 1 Toplam Hat Adedi	Model 1 Toplam Araç Sayısı	Model 2 Toplam Hat Adedi	Model 2 Toplam Araç Sayısı	Model 3 Toplam Durak Adedi
A	49	634	58	685	32
B	101	614	119	651	301
C	178	358	153	274	6549

Model 1 ve Model 2 kümeleri için toplam araç sayılarının belirlenmesinin ardından Şekil 4’teki algoritma adımları

izlenerek, taşıma hizmeti sağlayan kurumun belirttiği yatırım adetlerine göre yatırımın yapılacağı otobüs hattı numaraları ve durak lokasyonları belirlenmiştir. Şekil 4'teki algoritma adımlarının açıklaması aşağıda belirtilmiştir:

Adım 1: A sınıfında bulunan toplam otobüs ya da durak sayısının toplam yatırım adedinden büyük olması durumunda küme içerisindeki elemanların niteliklere göre ağırlık değerleri hesaplanır ve ağırlık değeri yüksek olan hat numaralarına ya da duraklara öncelik verilerek yatırım ataması gerçekleştirilir.

Adım 2: A sınıfında bulunan toplam otobüs ya da durak sayısının toplam yatırım adedinden küçük ya da eşit olması durumunda küme içerisinde tüm elemanlara yatırımın uygulanması kararı alınır.

Adım 3: Kalan toplam yatırım adedi, B sınıfı eleman sayısından küçük ise küme içerisindeki elemanların niteliklere göre ağırlık değerleri hesaplanır ve ağırlık değeri yüksek olan hat numaralarına ya da duraklara öncelik verilerek yatırım ataması gerçekleştirilir.

Adım 4: Kalan toplam yatırım adedi B sınıfı eleman sayısından büyük ya da eşit ise B sınıfı elemanlarının tümüne yatırım uygulanması kararı alınır.

Adım 5: Kalan toplam yatırım adedi, C sınıfı eleman sayısından küçük ise küme içerisindeki elemanların niteliklere göre ağırlık değerleri hesaplanır ve ağırlık değeri yüksek olan hat numaralarına ya da duraklara öncelik verilerek yatırım ataması gerçekleştirilir.

Adım 6: Kalan toplam yatırım adedi C sınıfı eleman sayısından büyük ya da eşit ise C sınıfı elemanlarının tümüne yatırım uygulanması kararı alınır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

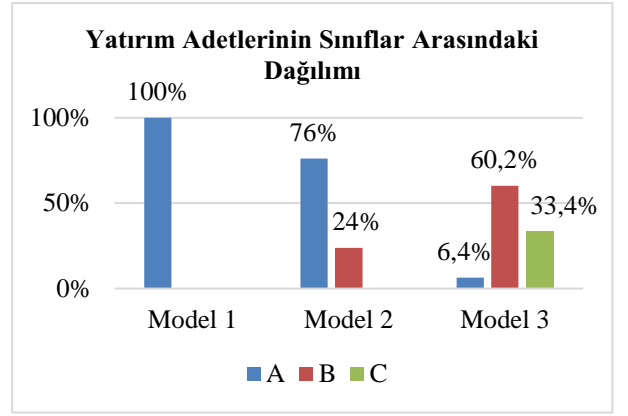
3.1 Araştırma Sonuçları

Model 1, Model 2 ve Model 3 için yatırım atamasının yapıldığı A-B-C sınıflarındaki nesne sayısı Tablo 14'te görülmektedir.

Tablo 14. A-B-C sınıflarına ait nesne adetleri

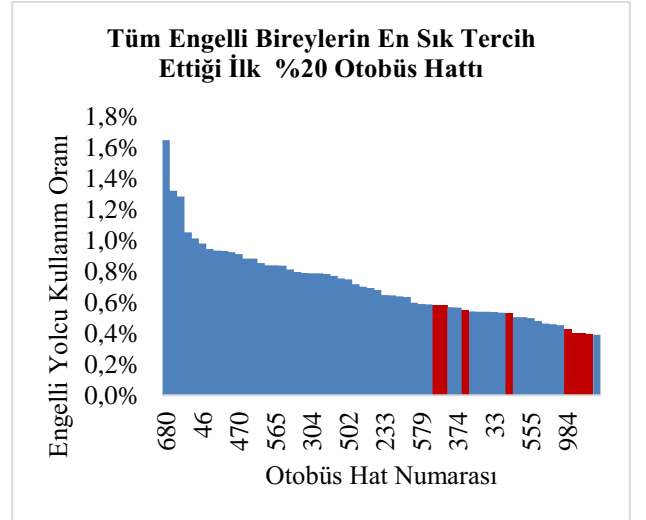
Sınıf	Dış Hoparlör Sistemi Yatırım Adedi (Model 1)	Otobüs İçi Akıllı Bilgilendirme Ekranı Yatırım Adedi (Model 2)	Durak İçi Akıllı Bilgilendirme Ekranı Yatırım Adedi (Model 3)
A	100	685	32
B	0	215	301
C	0	0	167

Yatırım adetlerinin A-B-C sınıfları arasındaki dağılımı Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Yatırım adetlerinin dağılımı

Şekil 6'da, tüm engelli bireylerin en sık kullandığı %20'lik dilimde yer alan otobüs hattı numaraları ve diğer otobüs hatlarına olan talebe kıyasla kullanım oranları sıkıştırılmış olarak yer almaktadır. Çalışmanın sonucunda yatırım yapılmasına karar verilen otobüs hatları aşağıdaki grafikte mavi renk ile gösterilmişken, %20'lik dilimde olmasına rağmen yatırım planına alınmayan otobüs hatları kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 6. Otobüs hattı talep grafiği

3.2 Tartışma

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre; Model 1 ve Model 2'de yatırımın yapılmasına karar verilen otobüs hatları, toplu taşıma otobüsleri arasında tüm engellilerin en sık kullandığı %20'lik dilimin içerisinde yer almaktadır. Model 3'te ise İzmir ilindeki 500 adet durağa yani tüm durakların %7'sine yatırım yapılması planlanmıştır. Çalışmanın sonucundaki bulgulara göre yatırımın yapılması için belirlenen durakların %85'i tüm engellilerin en sık kullandığı %7'lik dilimin içerisinde yer almaktadır. Belirtilen bu talep dilimlerinin dışında kalan diğer hat ve yatırım lokasyonları ise modellemede kullanılan ve seçimi önemli ölçüde etkileyebilecek farklı niteliklerin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu bulgulara göre, çalışmada gerçekleştirilen veri madenciliği ve ABC sınıflandırma çalışmasının tutarlı sonuçlar verdiği sonucuna varılmaktadır.

Yatırım adetlerinin paylaşılmasında ise bulgularda görüldüğü üzere A sınıfı elemanlarının %100'ü yatırım planına alınmış, geri kalan adetler sırasıyla B ve C sınıflarına dağıtılmıştır.

Bu çalışmada, standart sıralama yöntemleri yerine farklı bir bakış açısı kullanılarak, veri madenciliği yöntemi uygulanmış, seçim yapılması istenen nesnelere benzer niteliklerine göre gruplandırılması yapılmış ve bu ABC sınıflandırmasının, söz konusu yatırım kararı dışında; gelecekteki diğer yatırım, planlama, bakım gibi çalışmalarda da rehber nitelikte olabilmesi sağlanmıştır.

Veri madenciliği konusunda yapılmış önceki çalışmalara kıyasla, bu çalışmada kamu kuruluşuna ait gerçek veriler kullanılmış, veri madenciliğinin yatırım kararlarında kullanılabilirliği gösterilmiş, yalın yöntemlerden olan ABC sınıflandırması ile nispeten yeni ve gelişmekte olan Endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan veri madenciliği yönteminin birbirini destekleyici olarak bir arada uygulanabilirliği gözler önüne serilmiştir. Bu çalışma; mühendislik uygulamalarının, kamu kurumlarında oldukça az sıklıkta kullanılıyor olması sebebiyle, diğer kamu kurum ve kuruluşlarına da öncülük ve rehberlik edebilecektir.

Yatırımların planlanan ilk kısmı uygulandıktan sonra ikinci kısım yatırımlar için model yeniden çalıştırılabilir. Yatırımların ilk kısım uygulamasının ardından engelli yolculardan geri bildirim alınarak modele yeni nitelikler eklenebilir ya da AHP önem dereceleri güncellenebilir.

Sonraki çalışmalarda modelleme için farklı veri madenciliği algoritmaları kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, şehir içi toplu taşıma hizmeti veren bir kamu kuruluşunun akıllı kartlardan elde ettiği büyük veri tabanı kullanılarak, engelli bireylerin yararına olması planlanan yatırımların hangi otobüs hattı ve hangi bölgelere yapılacağı kararı, veri madenciliği, AHP çok kriterli karar verme ve ABC analizi yöntemleriyle desteklenmiştir. Veri madenciliği uygulaması ile hat ve duraklar kümelerine ayrılmış, AHP yöntemi ile kümelerin birbirine göre üstünlük sıralaması yapılmış ve ABC analizi ile kümelerin nitelikleri belirlenerek yatırım dağılımı gerçekleştirilmiştir.

Model 1 ve Model 2 'de ABC analizinin temeli olan pareto ilkesine uygun bir sınıf dağılımı gerçekleşmiştir. K-means algoritma sonucuna göre; A sınıfı nesnelere, tüm nesnelere ilk %20'lik diliminde yer almaktadır. Model 3'te ise nesne sayısı diğer modellere göre oldukça fazladır ve A sınıfında bulunan nesne sayısı %0,4'lük dilimi kapsamaktadır. Bu oran pareto ilkesine uymamasına rağmen adetsel olarak kontrolü daha mümkün olduğu için çalışmaya faydalı bir sonuç olarak değerlendirilmiş ve farklı bir algoritma denenmesine gerek duyulmamıştır.

Çalışmanın sonucunda, kuruluş tarafından planlanan toplam yatırım adetleri, oluşturulan algoritma doğrultusunda kümelerin içerisindeki nesnelere dağıtılarak detaylı yatırım planlaması desteklenmiştir. Genel tercih sıralamasındaki ilk %20'lik dilim test verisi kabul edilerek modelin doğruluk kontrolü sağlanmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veriler, ESHOT Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Kaynakça

- [1] Bekiroğlu, M. S. (2002). Peyzaj düzenlemelerinde özürülülerin kullanımları ile ilgili sorunların saptanması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Lee, R. K. W., & Kam, T. S. (2014). Time-series data mining in transportation: A case study on singapore public train commuter travel patterns. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(5), 431–438.
- [3] You, H., & Yang, X. (2017). Urban expansion in 30 megacities of China: categorizing the driving force profiles to inform the urbanization policy. *Land Use Policy*, 68, 531–551.
- [4] Zhang, N., Chen, H., Chen, X., & Chen, J. (2016). Forecasting public transit use by crowdsensing and semantic trajectory mining: Case studies. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5, 180–193.
- [5] Zhuang, P., Shang, Y., & Hua, B. (2009). Statistical methods to estimate vehicle count using traffic cameras, *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 20(2), 121–133.
- [6] Yılmazdamar, E. (2019). Toplu taşıma kullanan öğrencilerin hareketliliğinin analizi: Bursa örneği. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- [7] Liu, D. R. & Shih, Y. Y. (2005). Integrating AHP and data mining for product recommendation based on customer lifetime value. *Information & Management*, 42(3), 387–400.
- [8] Güçdemir, H., & Selim, H. (2015). Integrating multi-criteria decision making and clustering for business customer segmentation. *Industrial Management & Data Systems*, 115(6), 1022–1040.
- [9] Gemici, B. (2012). Veri madenciliği ve bir uygulaması. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [10] Akpınar, H. (2000). Veri tabanlarında bilgi keşfi ve veri madenciliği. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 29(1), 1–22.
- [11] Evans, S., Lloyd, J., Stoddard, G., Nekeber, J., & Samone, M. (2005). Risk factors for adverse drug events. *The Annals of Pharmacotherapy*, 39, 1161–1168.
- [12] Dinçer, E. (2006). Veri madenciliğinde K-Means algoritması ve tıp alanında uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [13] Kıyak, E., Timuş, O., & Karayel, M. (2016). Inventory classification with ABC analysis. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 11(2), 11–24.
- [14] Chen, J. X. (2012). Multiple criteria abc inventory classification using two virtual items, *International Journal of Production Research*, 50(6), 1702–1713.
- [15] Gupta, M. K., & Chandra, P. (2019). HYBCIM: Hypercube based cluster initialization method for k-means, *International Journal of Innovative Technology Exploring Engineering*, 8(10), 3584–3587.
- [16] Gülenç, İ. F., & Bilgin, G. A. (2010). Yatırım kararları için bir model önerisi: Ahp yöntemi, *Öneri Dergisi*, 9(34), 97–107.
- [17] Özyörük, B., & Özcan, E. C. (2008). Analitik hiyerarşi sürecinin tedarikçi seçiminde uygulanması: Otomotiv sektöründen bir örnek, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(1), 133–144.
- [18] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process, *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.



Numerical Investigation of the Effect of Edge Length of Square Helical Wires on Heat Transfer and Pressure Drop

Taha Tuna Göksu^{1*}, Rasim Behçet²

^{1*} Adiyaman University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adiyaman, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2028-3362), tgoksu@adiyaman.edu.tr

² Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6897-3066), rasim.behcet@inonu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009258)

ATIF/REFERENCE: Göksu, T.T, Behçet, R., (2021). Numerical Investigation of the Effect of Edge Length of Square Helical Wires on Heat Transfer and Pressure Drop. *European Journal of Science and Technology*, (28), 602-606.

Abstract

Heat transfer and applications are among the most important research topics of the industry. The most important factor investigated in this paper is to achieve high heat transfer with less energy. Efforts to improve heat transfer in heat exchangers are an example of this. In this study, the effect of the length of the square helical wires placed in the circular pipe on the heat transfer and pressure drop was investigated numerically. All results were obtained using the k- ϵ turbulence model in the ANSYS FLUENT module. The equations used in the verification were compared with the Dittus-Boelter equation and the Nusselt number friction factor in the turbulent regime with numerical results. It has been observed that the results of the smooth pipe obtained numerically and the results of the empirical relations are quite close to each other. The cross-sectional length of the inserted helical wires is 3, 4, and 5 mm. The pitch ratio of the placed helical wires is 1. The Reynolds number research range is between 5175 and 24,575. According to the obtained results, both the Nusselt number and the friction factor increase with increasing edge length. In addition, higher efficiency is obtained at a low Reynolds number according to the thermo-hydraulic thermal performance criterion (PEC). The highest PEC was seen in the helical wire with a cross-section length of 3 mm, with a value of 1.25. However, it is observed that the PEC of 5 is greater than 4 and 3 with increasing Reynolds number.

Keywords: Heat transfer enhancement, FLUENT, Helical coil, Cross-section, PEC

Kare Kesitteki Helisel Tellerin Kenar Uzunluğunun Isı Transferi ve Basınç Düşümüne Etkisinin Sayısal İncelenmesi

Öz

Isı transferi uygulamaları endüstrinin en önemli araştırma konuları arasındadır. Sunulan makalede incelenen en önemli faktör, daha az enerji ile yüksek ısı transferi elde etmektir. Isı eşanjörlerinde ısı transferini iyileştirme çabaları da buna örnektir. Bu çalışmada dairesel boru içerisine yerleştirilen kare kesitteki helisel tellerin kenar uzunluğunun ısı transferi ve basınç düşümüne etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Analizler ANSYS FLUENT modülünde k- ϵ türbülans modeli kullanılarak elde edilmiştir. Doğrulamada kullanılan denklemler, türbülanslı rejimdeki kullanılan Dittus-Boelter denklemiyle Nusselt sayısı ve türbülanslı rejimde kullanılan sürtünme faktörü ile sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sayısal olarak elde edilen boş boru sonuçları ile ampirik ilişkilerin sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Yerleştirilen sarmal/helisel tellerin kesit uzunluğu 3, 4 ve 5 mm'dir. Yerleştirilen sarmal tellerin hatve oranı 1'dir. Reynolds sayısı araştırma aralığı 5175 ila 24,575 arasındadır. Elde edilen sonuçlara göre kenar uzunluğu arttıkça hem Nusselt sayısı hem de sürtünme faktörü artmaktadır. Ayrıca termo-hidrolik olarak ele alınan termal performans kriterine (PEC) göre düşük Reynolds sayısında daha yüksek verim elde edilmiştir. En yüksek PEC, 1,25 değeri ile 3 mm kesit uzunluğuna sahip sarmal telde görüldü. Ancak artan Reynolds sayısı ile kesit uzunluğu 5 mm'nin PEC'nin 4 ve 3'ten büyük olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı Transfer İyileştirmesi, FLUENT, Helisel Tel, PEC, Kesit geometrisi.

* Corresponding Author: tgoksu@adiyaman.edu.tr

1. Introduction

Placing the external element inside the heat exchanger, which is one of the passive heat transfer improvement techniques, has an important role in improving the heat transfer. The main reason for this is that it does not bring extra costs. The most important elements or geometries that come to the fore at this point are external elements such as twisted tape or helical wires.

The thermal and hydraulic characteristics of different types of twisted band and helical wires were investigated in both laminar and turbulent regimes. It has been found that helical wire performs better than twisted tape (Wang & Sundén, 2002).

The analysis of heat transfers and flow-induced vibration in the case of conical rings placed inside the pipe has been experimentally investigated. The pitches of the placed external elements are 10, 20, and 30 mm. The conical ring with a pitch of 10 mm increased the heat transfer by 250% in the case of constant pump power (Yakut & Sahin, 2004).

The effect of helical wire in 3 different pitches, where the fluid is water, on the heat transfer when placed in the pipe was numerically investigated. According to the results obtained, the maximum thermal stress was observed when the pitch ratio (p/D) was 2 and the speed was 3 m/s (Özceyhan, 2005).

The effect of helical wires on heat transfer and pressure drop in circular cross-section, 6 different geometries, p/D ratio in the range of 1.17 to 2.68, and also the ratio of cross-section diameter to pipe diameter (e/D) 0.07 to 0.1 were investigated experimentally. Helical wire placed at constant pumping power and in the transition zone increased the heat transfer by 200%. The placed helical wires showed the highest efficiency in the transition region (García et al., 2005).

The effect of geometric parameters such as pitch effect on heat transfer when helical wire elements are placed inside the double pass heat exchanger has been investigated. According to the results of the experiments, they observed the effect of placing an external element/turbulator on heat transfer, especially in the laminar region (Gunes et al., 2010).

The effect of conical-nozzle and combined type swirl generator (the use of conical nozzle and volute geometry together) on the heat transfer improvement when placed in the pipe at different pitch ratios was experimentally investigated. According to the experimental results obtained, they observed that the conical nozzle or volute type combined turbulator increased the heat transfer by 278% and 206%, respectively (Promvong & Eiamsa-ard, 2006, p.).

The properties of the boiling heat transfer of nitrogen were investigated experimentally when the helical wires were placed inside the tube. The inserted helical wire has a circular cross-section geometry. The realized heat transfer improvement increased by 174% compared to the smooth pipe (Yun et al., 2007).

The effect of conical turbulators with converging and diverging geometry on heat transfer has been experimentally investigated. Pitch ratios are $p/D=2.0$, 4.0 and 7.0. According to the results obtained, an increase of 315%, 300% and 285% was observed for the specified pitch ratios compared to the Nusselt number smooth pipe, respectively (Promvong & Eiamsa-ard, 2007).

The thermal and hydraulic characteristics of the twisted tape and wire nails type geometries placed on the twisted tape were experimentally investigated. Twisting ratios (Y) of the placed twisted tape or spiked twisted tape are $Y=2$, 4.4 and 6. According to the experimental results obtained, the highest Thermal Performance Factor (PEC) was observed as 1.33 in the spiked twisted tape. They obtained this value at low Reynolds number and $Y=2$. The lowest PEC was observed in the case of $Y=6$ and in the straight twisted band, but at a high Reynolds number (Murugesan et al., 2010).

The effect on heat transfer was investigated by placing the fin-type turbulators in the channel with a Reynolds number of 4,000 to 23,000. Working pitch values are 1, 2 and 3. The highest $PEC=1.8$ was obtained at low Reynolds number and $p/D=1$ (Promvong et al., 2012).

Energy and exergy analysis were made by placing twisted tape or strip and their derivatives integrated into the humidification-dehumidification desalination system (Muthusamy & Srithar, 2015).

The variation in the heat transfer coefficient when the bent strip is placed in the pipe at different pitch ratios (6-9) has been numerically investigated. Results showed that the heat transfer performance or Thermal Performance Factor (PEC) is 0.90–1.02, 0.89–1.00, 0.91–0.96, and 0.92–0.96, respectively, depending on the increase in twist rate (Göksu & Yilmaz, 2019).

In this study, the effect of the edge length of the helical wire on the heat transfer improvement was investigated. The cross-section of the studied geometry is square. The section lengths whose effects on heat transfer were investigated are 3, 4, and 5 mm. The Reynolds number research range is between 5175 and 24,575.

2. Numerical Approach

2.1. Geometry

Figure 1 shows the geometry of helical insert placed in a plain tube. The inlet diameter of the pipe is 60.3 mm and the thickness of the pipe is 3.5 mm. The geometry of helical wire with a pipe was modeled periodically. Figure 1 shows the periodical geometry of the pipe with placed helical coil/wire. The geometrical cross-section of the helical coil is square and each side of a square is $a=3$, 4, and 5 mm. Pitch ratio of whole geometries are equal to $p/D=1$.

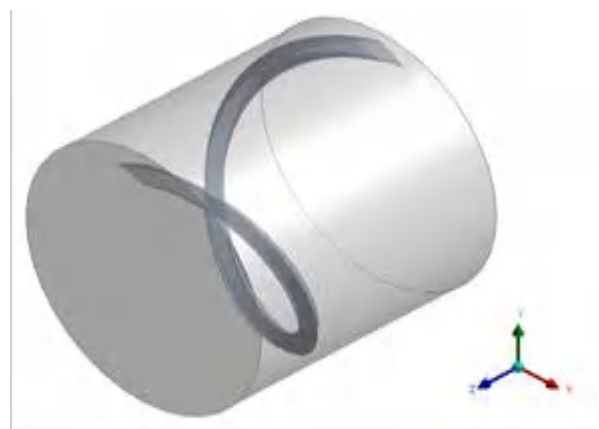


Fig.1. Geometry of periodical model

2.2. Mesh

Plain tube mesh, mesh for a=3, 4, and 5 mm were applied to the geometry for analysis. The full model geometry meshed for the plain tube analysis, and for the geometries where the edge length effect of square wire coil was investigated, less mesh was applied because the periodic model was used. Tetra mesh was applied to all geometries first. Then all meshes were converted to polyhedral meshes. The lowest quality (for orthogonal quality) for all analyzes was obtained as 0.125, and this value is very important to get accurate results in the program.

Tetrahedral mesh numbers are 240097, 246154, and 250470 for a=3, 4, and 5 mm, respectively. The number of elements was increased up to 3 times and tested again, and the specified mesh numbers were used after it was seen that the deviation amount obtained was below 0.98%. Figure 2 and 3 show the tetra mesh of domain, converted mesh for polyhedral meshes, respectively.



Fig.2. Tetrahedral mesh for domain

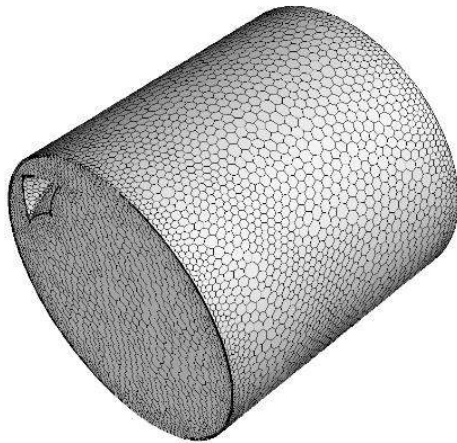


Fig.3. Tetrahedral mesh converted to polyhedral mesh

2.3. Boundary condition

The flow direction is specified as normal to the tube cross-section. Uniform heat flux was performed on the pipe wall as 500 W/m². The air was selected to be the working fluid. The flow regime is considered to be turbulent where the Reynolds number varies from 5175 to 24,556.

2.4. Numerical solution

The commercial computational fluid dynamics(CFD) solver Ansys Fluent was used. SIMPLE algorithm for pressure-velocity coupling, spatial discretization for gradient (least square cell-based), pressure (second-order), turbulent kinetic energy and dissipation rate (first-order upwind), momentum, and energy (second-order upwind) and k-ε turbulence model with enhanced wall treatment option were applied. The y+ value was lower than 1 for all analyses. The solution convergence criterion was satisfied as to the scaled residuals less than 10⁻⁷ for energy, and 10⁻⁴ for momentum, continuity, k, and ε.

2.5. Calculation of Thermo-Hydraulic Fluid Properties

The following equations were used for the calculation of numerical results:

Reynolds Number (Re):

$$Re = \frac{\rho \cdot U_{ort} \cdot D_h}{\mu} \quad (1)$$

Darcy's friction factor (f):

$$f = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot D}{\rho \cdot U_{mean}^2 \cdot L} \quad (2)$$

Blasius equation for plain tube friction under turbulent flow:

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (3)$$

Nusselt number(Nu):

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (4)$$

Dittus-Boelter equation for plain tube:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (5)$$

Performance evaluation criteria (PEC):

$$PEC = \eta = \frac{h_a}{h_0} \Big|_{pp} = \frac{Nu_a}{Nu_0} \Big|_{pp} = \left(\frac{Nu_a}{Nu_0} \right) \left(\frac{f_a}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (6)$$

3. Results and Discussion

Figures 4 and 5 show the smooth pipe comparisons of the numerical with experimental results of Reynolds number versus Nusselt number and friction factor. Figures shows that, the results of the Nusselt number and Darcy's friction factor are close for the Reynolds number range of 5175 and 24,575. While the deviation of the numerical results for the Nusselt number varies between 2.3–12.8%, it is between 4.3–14.3% for the friction factor.

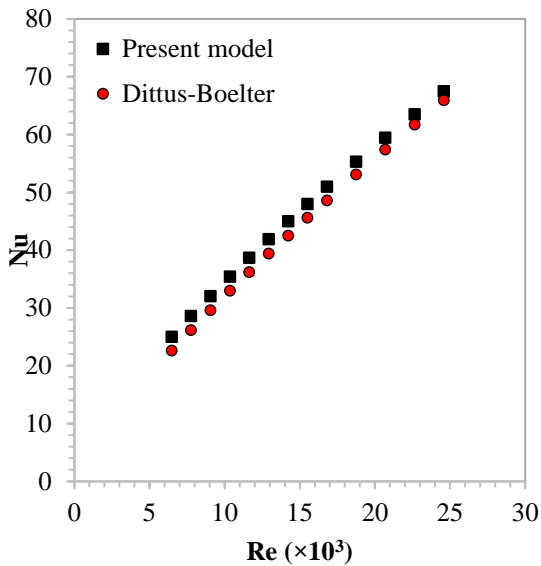


Fig.4. Nusselt number comparison with Numerical and Experimental

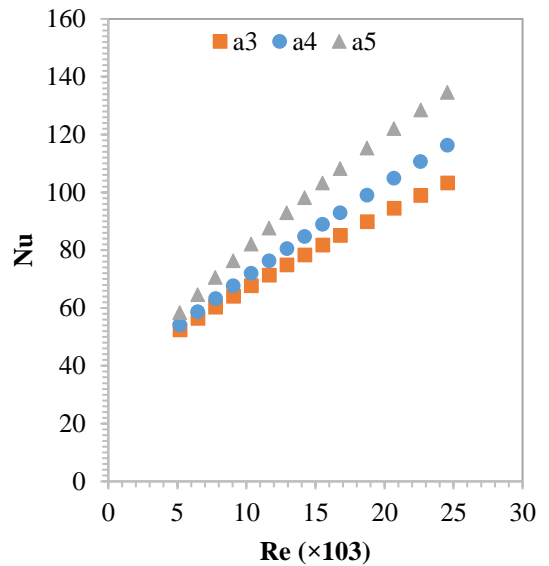


Fig.5. Nusselt number variation with edge length

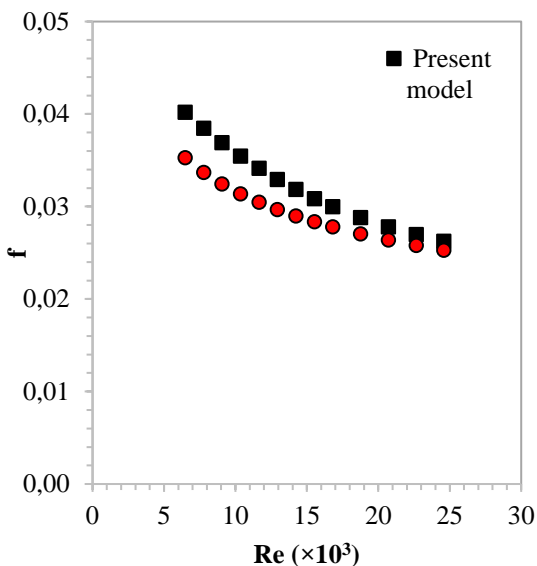


Fig.6. Friction factor comparison with Numerical and Experimental

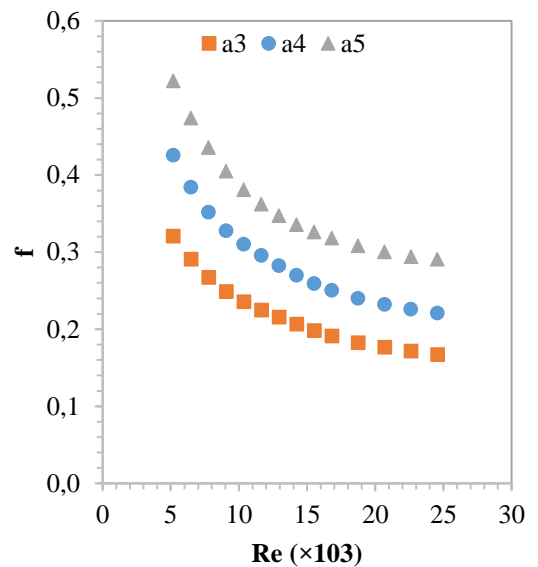


Fig.7. Friction factor variation with edge length

Figures 6, 7, and 8 show the variation of Nusselt number, friction factor, and PEC with respect to Reynolds number, respectively. It was observed that Nusselt number of $a=5$ mm were higher than $a=4$ mm and $a=3$ mm, respectively, throughout the entire Reynolds number. The highest Nusselt number was obtained as $Nu=134.7$ in $Re=24,564$, and the lowest $Nu=103.29$ in this Reynolds number was obtained at $a=3$ mm.

The highest friction factor for all Reynolds numbers was observed at $a=5$ mm. followed by $a=4$ and $a=3$ mm, respectively. the highest friction factor was obtained as $f=0.522$ at low Reynolds number.

When the graph of Reynolds number against PEC is examined, the highest $PEC=1.25$ is seen at low Reynolds number and $a=3$ mm, while $a=5$ mm outperforms the other two length $a=3$, 4 mm as the Reynolds number increases.

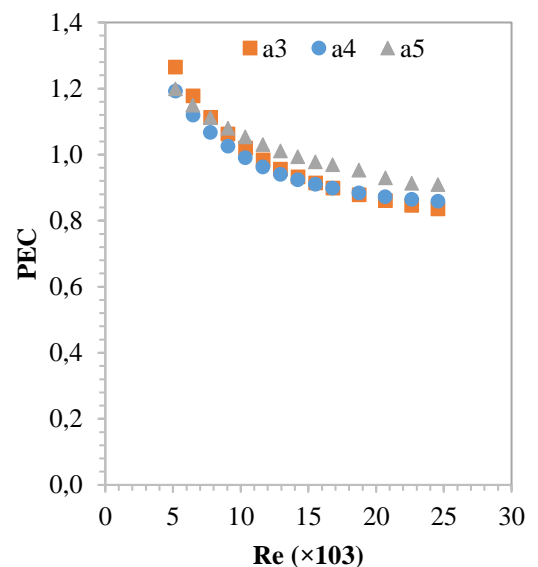


Fig.8. PEC variation with edge length

4. Conclusions

This paper presents the thermo-hydraulic performance of helical coil placed in pipe with length of coil. A numerical model has been developed periodically. Each side of square helical coil is 3, 4, and 5 mm. pitch ratio is $p/D=1$ for the Reynolds number range of 5175 to 24,575. The findings of the numerical study which reveal how efficiently this insert is to be utilized for enhancing the heat transfer against pressure drop are as follows:

- The highest friction factor and Nusselt number for all Reynolds numbers were found at $a=5$ mm.
- The best thermal performance was observed at $a=5$ mm in all tests except the low Reynolds number.
- The highest $PEC=1.25$ was obtained at low Reynolds number.
- The effect of the helical wire of the specified cross-section on the heat transfer was observed when the Reynolds number is less than $=10,000$.

5. Acknowledge

The authors acknowledge the financial support received from the Scientific Research Project Unit of Inonu University under Grant no. FDK-2020-2286.

References

- García, A., Vicente, P. G., & Viedma, A. (2005). Experimental study of heat transfer enhancement with wire coil inserts in laminar-transition-turbulent regimes at different Prandtl numbers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(21–22), 4640–4651. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.04.024>
- Göksu, T. T., & Yilmaz, İ. H. (2019). Enhancement of heat transfer using twisted tape insert in a plain tube. 10.
- Gunes, S., Ozceyhan, V., & Buyukalaca, O. (2010). Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(6), 684–691. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2009.12.010>
- Murugesan, P., Mayilsamy, K., & Suresh, S. (2010). Heat Transfer and Friction Factor Studies in a Circular Tube Fitted with Twisted Tape Consisting of Wire-nails. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 18(6), 1038–1042. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(09\)60166-X](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(09)60166-X)
- Muthusamy, C., & Srithar, K. (2015). Energy and exergy analysis for a humidification–dehumidification desalination system integrated with multiple inserts. *Desalination*, 367, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.032>
- Özceyhan, V. (2005). Conjugate heat transfer and thermal stress analysis of wire coil inserted tubes that are heated externally with uniform heat flux. *Energy Conversion and Management*, 46(9–10), 1543–1559. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.08.003>
- Promvong, P., & Eiamsa-ard, S. (2006). Heat transfer enhancement in a tube with combined conical-nozzle inserts and swirl generator. *Energy Conversion and Management*, 47(18–19), 2867–2882. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.034>
- Promvong, P., & Eiamsa-ard, S. (2007). Heat transfer in a circular tube fitted with free-spacing snail entry and conical-nozzle turbulators. *International Communications in Heat*

- and Mass Transfer, 34(7), 838–848. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2007.03.020>
- Promvong, P., Skullong, S., Kwankaomeng, S., & Thiangpong, C. (2012). Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape—Part 1: Experimental study. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(5), 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.03.007>
- Wang, L., & Sundén, B. (2002). Performance comparison of some tube inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 29(1), 45–56. [https://doi.org/10.1016/S0735-1933\(01\)00323-2](https://doi.org/10.1016/S0735-1933(01)00323-2)
- Yakut, K., & Sahin, B. (2004). Flow-induced vibration analysis of conical rings used for heat transfer enhancement in heat exchangers. *Applied Energy*, 78(3), 273–288. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2003.09.001>
- Yun, R., Hwang, J.-S., Chung, J. T., & Kim, Y. (2007). Flow boiling heat transfer characteristics of nitrogen in plain and wire coil inserted tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(11–12), 2339–2345. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.10.038>



HSL Renk Uzayında Görüntü İşleme ve Morfolojik İşlemler Kullanarak Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti ve Sınıflandırması

Doğucan Yağmur^{1*}, Gökhan Atalı²

^{1*} Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9153-7636), y190010001@subu.edu.tr

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1215-9249), gatali@subu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009678)

ATIF/REFERENCE: Yağmur, D. & Atalı, G. (2021). HSL Renk Uzayında Görüntü İşleme ve Morfolojik İşlemler Kullanarak Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti ve Sınıflandırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 607-613.

Öz

Görüntü işleme; tanıma, tespit, sınıflandırma, takip ve bölütleme gibi amaçlar için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem, dağıtık şekilde yüzeyde bulunan materyallerin konum ve boyut gibi bilgilerinin toplanabilmesi için oldukça hızlı ve güvenilir sonuçlar üretmektedir. Özellikle, yeni nesil üretim hatlarında farklı boyutlarda rastgele dizili gelebilen ürünlerin tespiti için kullanılan görüntü işleme teknikleri gelişen teknolojiler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada farklı çaplara sahip ürünlerin üretim hatlarında dağıtık bir şekilde bulunduğu ortamların örneklenmesi amacıyla giriş parametresi olarak madeni para kullanılmıştır. Öncelikle gerçek zamanlı olarak kamera ile alınan görüntünün HSL türünde renk uzayı çıkarıldıktan sonra gerçek dünya birimlerinde ölçüm yapabilmek için kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra gri tonlamalı görüntüden renk eşiği oluşturulup piksel değeri ayarlanmasıyla madeni para ile bulunduğu yüzey birbirinden ayrıştırılmıştır. Son olarak hataya sebep oluşturabilecek parazitler filtrelenmiş ve ardından ölçüm sonuçları alan cinsinden hesaplanarak madeni paraların sayıları tespit edilerek sınıflandırılmıştır. Bu işlemler için gerekli olan hesaplamalar LabVIEW yazılım ortamında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar anlık olarak görüntülenmiştir. Sonuç olarak, uygulanan görüntü işleme teknikleri ile tespit edilen yüzeydeki madeni paraların alan bilgileri kullanılarak gerçek boyutlara oranla ortalama doğrulukları tespit edilerek yazılımın başarı oranı çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, Bölütleme, Sınıflandırma, HSL renk uzayı, LabVIEW.

Real-Time Object Detection and Classification Using Image Processing and Morphological Technique in HSL Color Space

Abstract

Image processing is a common method used for purposes such as recognition, detection, classification, tracking and segmentation. This method produces very fast and reliable results in order to data acquisition such as the position and size of the materials on the surface in a distributed manner. Especially, image processing techniques used for the detection of random products in new generation production lines are among the developing technologies. In this study, a coin was used as an input parameter in order to sample the environments where products with different diameters are distributed on the production lines. First of all, the color space is extracted in the HSL of the image taken with the real time camera and calibration process has been carried out in order to make measurements in real world units. Then, by creating a color threshold from the grayscale image and adjusting the pixel value, the coin and the surface it is located on are discretized from each other. Finally, the parasites have been filtered out, and then the measurement results have been calculated in terms of area, and the numbers of the coins were determined and classified. All calculations required for these processes have been performed in the LabVIEW and the results displayed real time. As a result, by using the area information of the coins on the surface

* Sorumlu Yazar: y190010001@subu.edu.tr

determined by the applied image processing techniques, the average accuracy of the coins compared to the real sizes was determined and the performance rate of the software has been calculated.

Keywords: Image processing, Coin detection, Classification, HLS color space, LabVIEW.

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte endüstrideki üretim hızı artmış ve bunun sonucunda üretim sistemlerinin daha yüksek verimlilikle çalışma ihtiyacı doğmuştur. Çünkü hata tespiti hızlı bir şekilde gerçekleştirilmemesi durumunda daha kısa sürede daha çok ürünün hatalı üretilmesine ve bunun sonucunda maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

Üretim sonucunda ortaya çıkan ürünlerin kalite kontrolden geçirilerek hatalı ürün olup olmadığı tespit edilebilmesi için el, göz veya ölçüm aletleriyle gerçekleştirilmekteyken bazı üretim sistemlerinde ise görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu kontrol sonucunda sistemin verimliliği hesaplanıp, sistem üzerinde iyileştirme çalışması yapıp yapılmaması gerektiği ve yapılması gerekiyorsa bu çalışmanın acil olup olmadığına karar verilmektedir. Hata tespitinin görüntü işleme teknikleri ile gerçekleştirilmesi zaman ve maliyet bakımında kazanç sağlamak ve operatör veya ölçüm aletlerinden kaynaklanan hatalar en aza inmektedir.

Atmaca'nın çalışmasında, örme kumaşların üretiminde gerçekleşen hataların tespiti için elde edilen görüntüler gri tonlara dönüştürülmüş ve histogram eşitlemesi uygulanmıştır. Görüntüdeki parazitlerin filtrelenmesi için araştırmacı orta filtreleme işlemi gerçekleştirmiş ve görüntülere Fourier Analizi uygulanarak sınıflandırmada kullanılacak özellikleri çıkarmıştır. Sınıflandırma işleminin en iyi şekilde gerçekleştirilmesi için yapay sinir ağları yöntemi ile bulanık bölgelere ayırma yöntemi kullanılmış, yapay sinir ağları yönteminin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Atmaca, 2005). Tsai ve Tseng çalışmasında ton, doygunluk ve açıklık tabanlı olan HSL (hue, saturation, lightness) renk uzayını kullanarak renk algılama metodu üzerine çalışmışlardır. Ton ve doygunluk (HS) ile ton ve açıklık (HL) düzlemlerinden elde edilen bilgilerle nesne tanımlama işleminde çalışma süresini azaltmak ve algılama başarı oranını artırmak için yeni bir algoritma geliştirmişlerdir (Tsai & Tseng, 2012). Ozan'ın yaptığı çalışmada kusurlu yumurta analizi için görüntüsü alınan yumurtanın kusurlu bölgeleri tespit edilerek o bölgelere ait piksel sayıları hesaplanmıştır. Piksel sayıları daha önce belirlenen eşik değerinin üzerinde ise yumurta, kusurlu olarak nitelendirilmiştir. Yumurtaların boyut analizi için ise kusur bulunmayan yumurtalara ait piksel sayıları hesaplanmış ve daha önce belirlenen eşik değerlerine göre boyut sınıflandırması gerçekleştirilmiştir (Ozan, 2019). Bayram ve Yılmaz'ın yaptığı çalışmada metal sektörü için kalite kontrol sistemi geliştirilmiştir. Araştırmacılar lazer kesim ünitesiyle kesilmiş sac levhaların üzerinde bulunan farklı boyutlardaki deliklerin toleransları üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında kamera ile alınan görüntülere önışlemler uygulanmış ve ardından Dairesel Hough Dönüşümü ile levhanın üzerinde yer alan deliklere ait sayı, çap ve konum bilgileri ölçülmüştür. Bu bilgiler, referans levhaya ait bilgiler ile karşılaştırılmış ve sac levhaların tolerans içinde olup olmadıkları tespit edilmiştir (Bayram & Yılmaz, 2019). Yoldaş ve Sungur'un yaptığı çalışmada alüminyum ekstrüzyon profil üretiminde kalite kontrolü gerçekleştirmek için kameradan alınan renkli görüntünün üzerinde görüntü giderme işlemleri gerçekleştirilmiş ve görüntü gri tonlarına dönüştürülmüştür. Ardından ikili görüntüye dönüştürülerek Canny kenar belirleme algoritması uygulanmıştır. Referans

nesnenin görüntüdeki piksel değerleri, gerçek değerler ile oranlanarak piksel-mm dönüşümü formalize edilmiştir. Referans nesnenin bir kesitindeki gerçek ölçüsü ile görüntü işleme sonucu elde edilen ölçü karşılaştırılarak hata payı %0,6 olarak belirlenmiştir (Yoldaş & Sungur, 2020). Güvenoğlu ve Bağırman'ın çalışmalarında kot kumaşlar üzerinde hata tespiti için MATLAB ortamında oluşturulmuş kumaş hata tespit yazılımı ile kameradan gelen kumaş yüzeyi görüntüleri gri tonlarına dönüştürülerek filtreleme işlemleri uygulanmıştır. Shearlet dönüşümü uygulanarak görüntülere ait öznitelik vektörleri elde edilmiştir. Bu bilgiler kullanılarak farklı hata türlerine ait sınıflandırma için yapay sinir ağlarında eğitim verisi olarak kullanılmış ve testi gerçekleştirilmiştir. K katmanlı çapraz doğrulama metodu ile daha önce elde edilen sonuçların doğruluğu test edilmiş ve ortalama doğruluk oranı %94,453 olarak elde edilmiştir (Güvenoğlu & Bağırman, 2019). Özkan'ın yaptığı çalışmada üretimdeki yumurtaların kalite kontrolleri gerçekleştirilmiş ve boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Görüntüsü alınan yumurtaların x ve y eksenlerindeki çapları bulunmuş ve V. G. Narushin yöntemi ile yumurtaların hacimleri hesaplanmıştır. Yumurtaların hacim ve öz kütle bilgileri kullanılarak ağırlıkları hesaplanmıştır. Kir piksellerinin sayısı, yumurtaya ait toplam piksel sayısına bölünerek yüzde cinsinden kir oranı hesaplanmıştır. Araştırmacı kir oranı ve ağırlık durumu bilgilerini kullanarak bulanık mantık yöntemi ile yumurtaların kalite ve ağırlık sınıflarını belirlemiştir (Özkan, 2012). Öztürk'ün yaptığı çalışmada cam üretim sisteminde kalite kontrolü gerçekleştirmek için görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Kırık, çatlak, çizik ve baloncuk gibi hataların tespiti için görüntülere LoG, Canny, dalgalı dönüşümü, hücresel sinir ağı ve Gabor bankası algoritmaları uygulanarak hatalar tespit edilmiş ve sonuçlar referans görüntüler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda araştırmacı en başarılı modellerin %91,46 ile hücresel sinir ağı ve %89,55 ile Gabor bankası uygulamaları olduğu tespit etmiştir (Öztürk, 2015). Pınar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada pamuk ipliğinden üretilmiş ve indigo boyarmaddesi ile boyanmış olan denim kumaşlarını hatalı-hatasız olarak sınıflandırmak için görüntü işleme tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Özellik matrisi oluşturularak lineer regresyon, J48 karar ağacı, DFF (Deep Feedforward Neural Network) sinir ağı, Naive Bayes, K-means algoritmalarına girdi verisi olarak verilmiştir ve J48 algoritmasının hatalı-hatasız kumaş ayırımında diğer yöntemlere göre daha doğru sonuç verdiği görülmüştür (Pınar vd., 2020). Burkert ve arkadaşları kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü gibi karmaşık altyapılı işlemlerden kaçınarak iki çevrimli algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma ile gerçek zamanlı uygulamalar için dijital görüntüler üzerinde alt piksel doğruluğu ile iyileştirme yaparak nesne tespiti yapılmıştır (Burkert vd., 2011). Zhan ve arkadaşları farklı çerçeve ve kenar algılamaya dayanan bir algoritma geliştirerek hareketli nesnelerin tespitini yapmışlardır. Canny detektörünü kullanarak geliştirdikleri algoritma ile çerçeve farkı yöntemini iyileştirmişlerdir (Zhan vd., 2007). Şenel ve Çetişli'nin yaptığı çalışmada görüntü işleme tekniklerini kullanılarak robot kol ile üretim bandındaki nesnelerin denetimi gerçekleştirilmiştir. Gömülü Linux işletim sistemi ve bu işletim sistemi ile çalışabilen QT 4.8 arayüz tasarımı ve kodlama programı kullanılmış. Elde edilen görüntü, ikili görüntüye dönüştürülmüş ve aşındırma işlemi uygulanarak görüntüdeki parazitler filtrelenmiştir. Canny kenar belirleme algoritmasıyla kenarlar belirlenmiş ve genişletme

işlemlerle nesne içerisindeki boşluklar doldurulmuştur. Araştırmacılar yapmış oldukları çalışmada ikili görüntüdeki bütün piksel değerini toplamış ve daha önce belirlenen piksel değeri ile karşılaştırarak nesnenin hatalı olup olmadığına karar vermişlerdir. Bu karara bağlı olarak robot kolun hatalı olarak tanımlanan nesnelere ayırıştırmasını sağlamışlardır (Şenel & Çetişli, 2015). Tüm bu araştırmaların araştırma konusu olan görüntü işleme ile nesne tespiti ve bunların entegre bir sistem ile sınıflandırılması güncel çalışma konuları arasında yer almaktadır (Ozkaya vd., 2018; Yıldırım & Ozak, 2018).

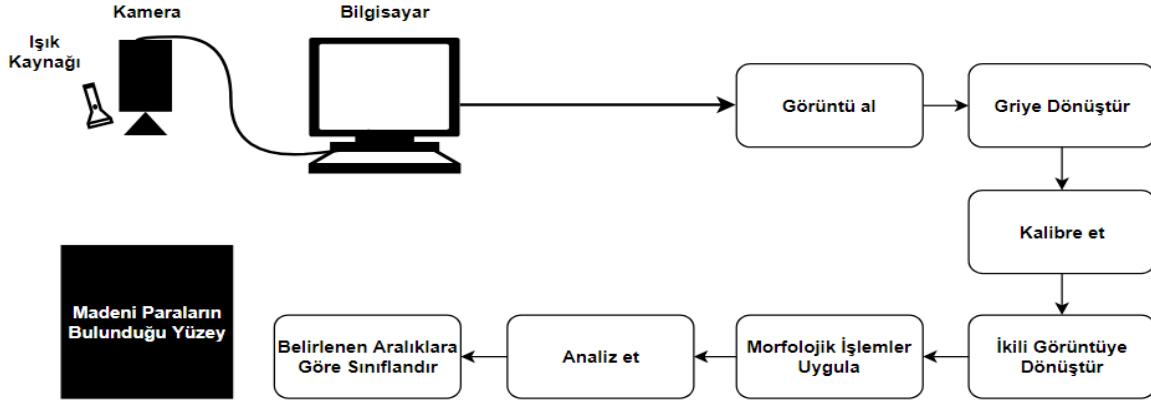
Araştırmalar göstermektedir ki nesne ve özellikle hata tespiti aşamalarında görüntü işleme tekniklerinden oldukça fazla yararlanılmaktadır. Bu çalışmada, belirli bir yüzey üzerinde bulunan dairesel nesnelere tespit amacıyla madeni paralar örnek olarak kullanılmıştır. Bu dairesel madeni paraların çap ve alan bilgileri görüntü işleme teknikleri ile tespit edilmiş ve gerekli sınıflandırma yapılmıştır. Çalışmada nesne tespiti amacıyla sabit ışık altında 1080p Full-HD WebCam (PK-910H) marka model webcam aracılığıyla elde edilen görüntüler, geliştirilen LabVIEW yazılım ortamına gerçek zamanlı olarak aktarılmış ve madeni

paraların çap-alan bilgileri elde edilmiştir. Alan bilgileri kullanılarak tespit edilen yüzeydeki madeni paralar 1TL, 50Krş, 25Krş, 10Krş ve 5Krş şeklinde sınıflandırılmış ve gerçek boyutlara oranla ortalama doğrulukları tespit edilerek başarı oranı çıkarılmıştır.

2. Önerilen Sistem

2.1. Görüntünün Elde Edilmesi

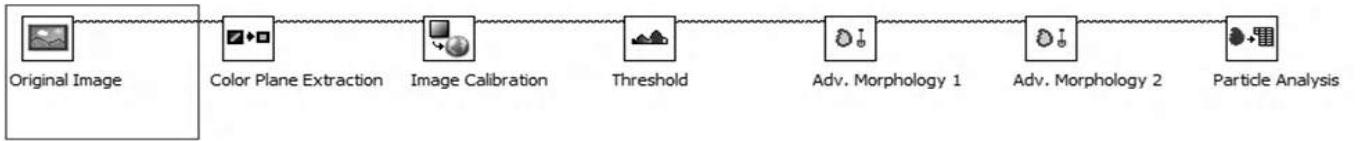
Bu çalışmada hatalı ürünler ile sağlam ürünlerin yüzey alanlarının aynı olmamasından yararlanılarak hata tespit ve sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir. Bir web kamera ile madeni paraların görüntüleri alınırken hataları en aza indirmek için sabit bir ışık kaynağı ile ortam homojen bir şekilde aydınlatılmış ve kamera ise ölçüm yapılacak yüzeyin ağırlık merkezine dik açıyla bakacak şekilde 26 cm yükseklikte konumlandırılmıştır. Madeni paraların arka plandan daha kolay ayrılması için 16,50x28,50 cm boyutlarındaki siyah bir yüzey üzerinde görüntü alma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Görüntüyü işleme ve sınıflandırma işlemleri için görsel programlama dili olan LabVIEW kullanılmıştır.



Şekil 1. Sistemin akış diyagramı

Şekil 2’de LabVIEW ortamında görüntünün elde edilmesinden sonra sırasıyla gerçekleştirilen işlem adımlarına yer verilmiştir. Bu adımlara ait detaylı bilgiler ise alt başlıklar

şeklinde bu bölümün devamında yer almaktadır. Ayrıca Şekil 3’te test verisi olarak kullanılan madeni paralara ait ön ve arka yüzler verilmiştir.



Şekil 2. Vision Asistant Modülü içerisindeki görüntü işleme adımları

2.2. Görüntü Kalibrasyonu

Görüntüler piksel cinsinden bilgiler içerdiğinden dolayı ölçüm sonuçlarını gerçek dünya birimleri ile görüntülenmesi için sistemin kalibre edilmesi gerekmektedir. Web kameradan alınan RGB (red, green, blue) değerlerine sahip kalibrasyon ızgarasının görüntüsü gri tonlarına dönüştürülmüştür. Görüntüdeki noktaların merkezleri arasındaki yatay ve dikey doğrultudaki mesafelerin gerçek değeri olan 10 mm değeri sisteme girilmiş ve bu kalibrasyon matrisi sisteme öğretilmiştir.



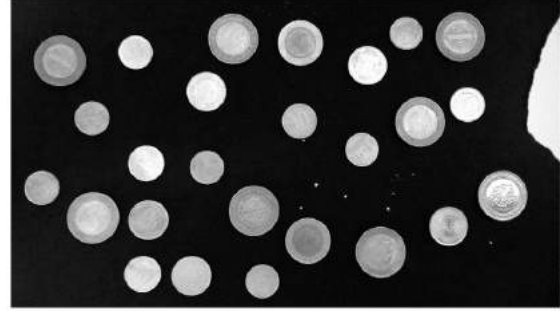
Şekil 3. Test verisi olarak kullanılan madeni paralar

2.3. Segmantasyon

Kalibrasyon işleminden sonra madeni paraların görüntüsü 1920x1080p çözünürlüğünde ve 32 bit renk derinliğinde olacak şekilde elde edilmiştir. Denklem (1) ile 32 bitlik RGB renk uzayındaki görüntü HSL renk uzayına dönüştürülerek parlaklık



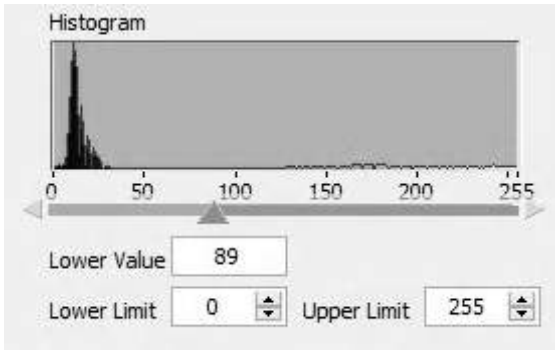
(a)



(b)

Şekil 4. (a) Orijinal görüntü (b) 8 bit gri tonlarındaki görüntü

Gri tonlarındaki görüntü ikili görüntüye dönüştürülerek madeni paranın arka plandan ayrılması sağlanmıştır. Bu işlem için gri tonlarındaki görüntüden histogram çıkarılmış ve bu histograma göre eşik değeri otomatik olarak belirlenmiştir. Bu yüzden otomatik eşikleme yöntemi, görüntüdeki parlaklık değerlerindeki değişimlerden sabit eşiğe göre daha az etkilenir (National Instruments, 2005). Şekil 5'te verilen histogramda her gri seviyedeki piksel sayısı dikey eksen doğrultusunda gösterilirken, gri seviye değeri ise yatay eksen doğrultusunda gösterilmiştir.



Şekil 5. Gri tonlarındaki görüntüye ait histogram

Otomatik eşikleme tekniklerinden metrik metodunun kullanılmasıyla bulunan eşik değeri, aşağıdaki ifadenin en aza indirildiği k piksel değeridir (National Instruments, 2003a).

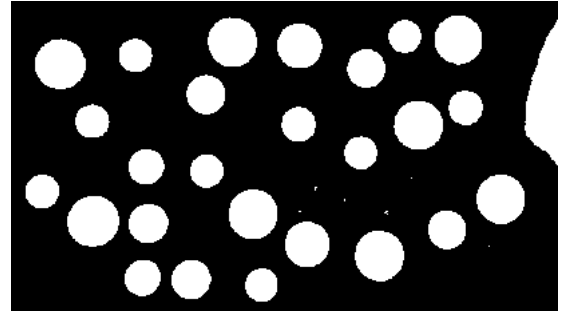
$$\sum_{i=0}^k h(i)|(i - \mu_1)| + \sum_{i=k+1}^{255} h(i)|(i - \mu_2)| \quad (2)$$

0 ile k arasındaki piksel değerlerinin ortalaması μ_1 , k+1 ile 255 arasındaki piksel değerlerinin ortalaması μ_2 , her gri seviyedeki piksel sayısı $h(i)$, gri seviye değeri i , toplam gri seviye sayısı ise N 'dir ve 8 bitlik görüntü için değeri 256'dır (National Instruments, 2003a).

düzlemi çıkarılmış (Şekil 4.a) ve ardından 8 bitlik gri tonlarında görüntü elde edilmiştir (Şekil 4.b). Bu sayede görüntü işleme adımlarının daha hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

$$\text{Gri tonlama değeri} = 0,299R + 0,587G + 0,114B \quad (1)$$

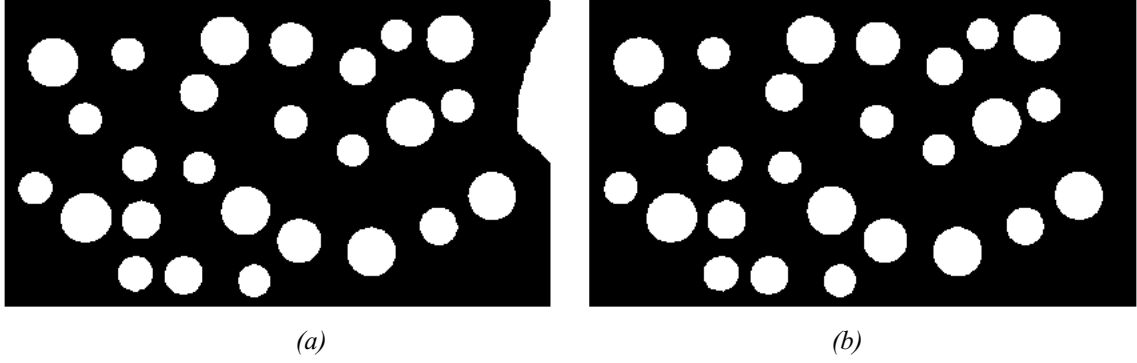
Bu çalışmada gerçekleştirilen yazılımda parlak yüzeyler lojik 1, karanlık yüzeyler lojik 0 olarak ayarlanmıştır. Gri tonlamalı görüntüye ait piksel değerleri, eşik değerine eşit veya eşik değerinden küçük ise piksel değerleri 0, eşik değerinden büyük ise piksel değerleri 1 yapılarak ikili görüntü oluşturulmuştur. 1 değerine sahip pikseller beyaz, 0 değerine sahip pikseller ise siyah renk ile gösterilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. 1 bitlik ikili görüntü

Gelişmiş morfolojik işlemler pikseller yerine parçacıklar üzerinde yoğunlaşarak en iyi görüntüyü elde etmeyi sağlamaktadır (National Instruments, 2003a). Bu nedenle Şekil 6'daki elde edilen ikili görüntü üzerinde, gelişmiş morfolojik işlemler uygulayarak ölçüm yapılacak görüntüde hatalara neden olabilecek parçacıklar ve nesnelere ortadan kaldırılmıştır.

Gerçekleştirilen ilk işlemde siyah yüzey üzerinde bulunan ve genişlikleri N-1 piksel veya daha küçük olan parçacıklar, filtre boyutu N olan bir filtre ile ortadan kaldırılmıştır. Parçacıkların filtrenmesi için gereken aşındırma sayısı, iterasyon sayısı ile belirtilerek $(N-1)/2$ aşındırmadan sonra parçacıklar filtrenmektedir. Bu çalışmada iterasyon sayısı 15 olarak belirlenmiş ve bu işlem sonucunda görüntü iyileştirilmiştir (Şekil 7.a).



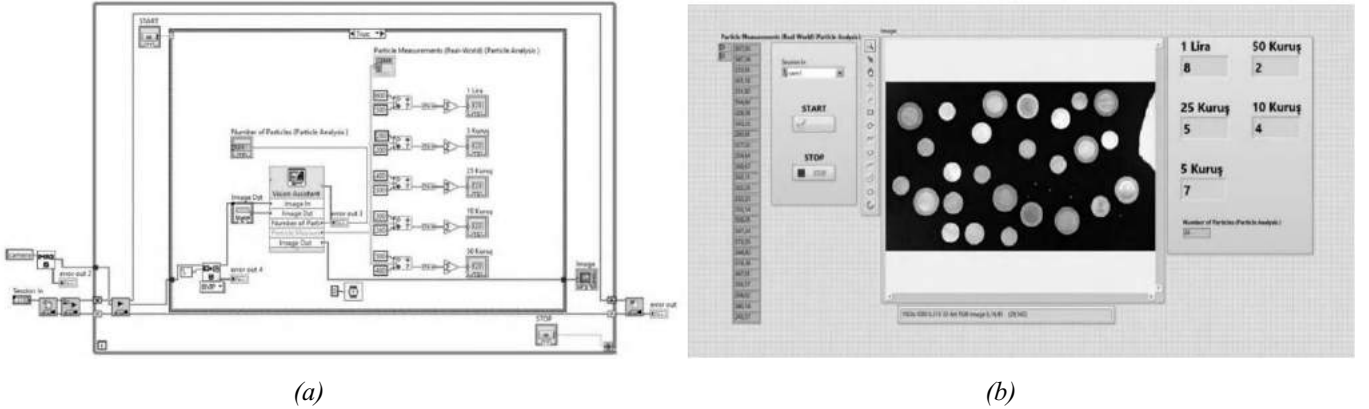
Şekil 7. (a) Filtreleme işlemi (b) Kenarlık nesnelere kaldırma işlemi

Diğer işlem ise görüntünün kenarına dokunan nesnelere kaldırma işlemidir (Şekil 7.b). Bu işlem sonucunda görüntü, parçacık analizine uygun hale getirilmiştir. Görüntüdeki nesnelere alanlarının tespit edilmesi için parçacık analizi işlemi uygulanmıştır. Her bir piksele karşılık bir birim kare geldiğinden dolayı ikili görüntüdeki nesnenin alanı o nesneye ait piksel sayısına eşittir ve böylelikle parçacık analizi metodu kullanarak her bir madeni paranın alanı hesaplanmıştır.

2.4. Madeni Para Sınıflandırması

Madeni paraların yüzey alanı bilgileri, blok diyagramda daha önce belirlenmiş aralıkta ise true bilgisine dönüştürülmüştür. Ardından bu bilgiler 1 sayı değerine dönüştürülerek toplanmış ve

her sınıftaki madeni paranın toplam sayısı ile yüzey alanı bilgileri ön panelde görüntülenmiştir. Gerçek zamanlı olarak anlık bir şekilde değişimlerin izlenebildiği veri toplama yazılımına ait LabVIEW Blok Diyagramı (kod ekranı) ve Ön Paneli (kullanıcı arayüzü) Şekil 8’de verilmiştir. İşlem başlatma ve durdurma butonları kullanılarak tasarlanan sistemde başlat butonuna basılmasının ardından madeni paralara tepeden bakan webcam aracılığı ile görüntüler anlık olarak elde edilmeye başlanmakta ve belirlenen aralıklarda olan alanlar 1TL, 50Kırş, 25Kırş, 10Kırş ve 5Kırş şeklinde sınıflandırılarak ön panel arayüzünde görüntülenmektedir. Şekil 8’de genel kod yapısı ve kullanıcı arayüzü sunulan program parçasına ait örnek bir madeni para diziliminin yüzey alanı değerleri ve her sınıfa ait toplam madeni para sayısı sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 8. (a) Blok Diyagram, (b) Ön Panel

Tablo 1. Parçacık analizi ve sınıflandırma sonuçları

Madeni	1 TL	50 kuruş	25 kuruş	10 kuruş	5 kuruş
Paraların Yüzey Alanları (mm ²)	506,99572	451,19107	329,38163	260,61265	233,9098
	547,34182	447,0096	343,2541	269,67203	251,7997
	554,6913	—	344,80083	283,27856	254,64304
	527,02461	—	319,38631	284,61973	243,10757
	509,05197	—	340,13559	—	252,20415
	547,24351	—	—	—	253,13816
	573,58431	—	—	—	243,56816
	538,5706	—	—	—	—
Toplam Adet	8	2	5	4	7

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmada kullanılan 5 çeşit madeni paraya ait 10 farklı ölçüm sonucu ve bu ölçümlere ait ortalama değerler Tablo 2’de sunulmuştur. Aynı sınıftaki madeni paraların yüzey alanlarının eşit çıkmamasının sebebi, ölçüm sırasında oluşan farklı ışık yansımaları ve madeni paraların kameraya olan açısından

kaynaklanmaktadır. Her bir sınıfta bulunan madeni para 16,50x28,50 cm boyutlarındaki siyah ölçüm yüzeyinin farklı noktalarına konularak ölçümler gerçekleştirilmiş ve Tablo 2’de verilen sonuçlara ulaşılmıştır. Tüm bu sınıflandırmalar sonucu belirlenen tolerans aralığı $\pm 5,074$ olarak tespit edilmiştir. Tolere edilen bu aralık sonuçları, gerçekleştirilen yazılımın başarılı bir şekilde sınıflandırma yaptığını göstermektedir.

Tablo 2. Görüntü işleme yazılımına ait alan ölçüm sonuçları

Deneysel no	Alan(mm ²)				
	1 TL	50 kuruş	25 kuruş	10 kuruş	5 kuruş
1	539,00035	446,9262	356,48789	287,14167	237,83659
2	505,20378	425,53077	350,55769	278,90725	232,78608
3	522,66374	455,07144	347,23082	295,19815	252,75559
4	545,73393	467,7514	336,49064	276,39904	236,44265
5	555,3887	423,67297	357,54505	266,23528	241,84277
6	532,68641	453,99566	348,81843	281,80157	245,44727
7	527,84165	458,93444	358,58304	279,45015	232,00171
8	536,50974	443,66753	355,4415	289,87629	239,70782
9	535,26118	447,56949	319,82186	293,4086	252,92995
10	560,30891	466,3228	353,15646	281,16139	244,31182
Ortalama	536,059839	448,94427	348,413338	282,957939	241,606225

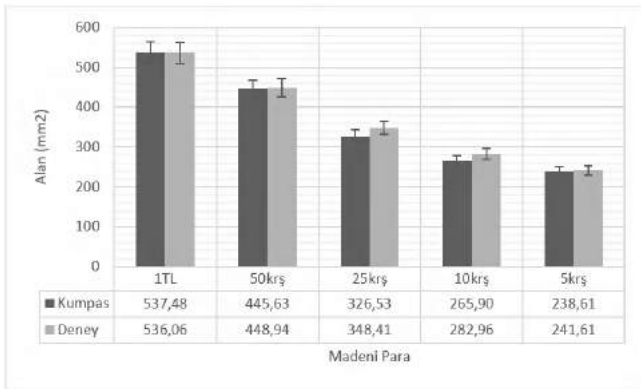
LabVIEW ortamında geliştirilen görüntü işleme yazılım sonuçlarının gerçek dünya verileri ile test edilmesi amacıyla ölçüm hassasiyeti 0,03 mm ve ölçüm aralığı 0-150 mm/0-6" olan

Accud dijital kumpas ile gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına Tablo 3’te yer verilmiştir. Bu ölçümler gerçekleştirilirken alan hesaplamasında $\pi=3,14159$ olarak alınmıştır.

Tablo 3. Deneysel verilerin kumpas ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması

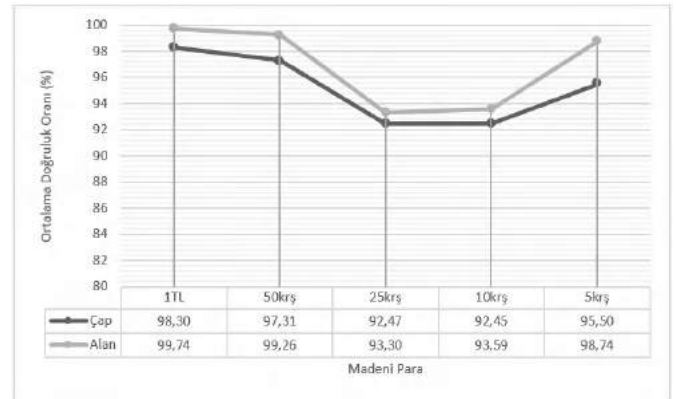
Ölçüm türü		1 TL	50 kuruş	25 kuruş	10 kuruş	5 kuruş
		Kumpas ölçüm sonuçları	Çap (mm)	26,16	23,82	20,39	18,4	17,43
Deneysel ortalama ölçüm sonuçları	Alan (mm ²)	537,48332	445,62857	326,53066	265,90418	238,60761
	Çap (mm)	26,60	24,46	21,93	19,79	18,21
	Alan (mm ²)	536,05983	448,94427	348,41334	282,95794	241,60623

Şekil 9’da, ortalama deney sonuçlarının alan cinsinden test ölçümleri ile karşılaştırılmalı sonuçları verilmiştir.



Şekil 9. Deney ve test verilerinin alan cinsinden karşılaştırması

Tablo 3’te verilen ölçüm sonuçlarına ait yüzde ortalama doğruluk oranları her bir sınıflandırmayı kapsayacak biçimde Şekil 10’da sunulmuştur. Şekilden anlaşılacağı üzere ölçümü gerçekleştirilen nesnenin boyutunun küçülmesi ile yüzde başarımlarında da bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu sapma değerinin nedeni, kameranın ölçüm yüzeyine olan uzaklığı ve deney ortamının ışık şiddetidir.



Şekil 10. Yüzde başarımlar

Sonuç olarak farklı sayılarda, 5 çeşit madeni para üzerinde test ve deneyleri gerçekleştirilen bu çalışma göstermektedir ki, geliştirilen yazılım endüstriyel sahada gerçek zamanlı veri okuma işlemlerinin gerçekleştirilmesinde özellikle alan bilgisi gerektiren durumlarda oldukça fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Madeni paraların yüzey bilgisi (yazı, tura) gözetmeksizin alan bilgisi referans alınarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen yüzde başarımların sunulduğu bu çalışmanın konu ile ilgili alanlarda çalışma yapan araştırmacılara ve ticari ürün geliştiricilerine fayda sağlaması hedeflenmektedir.

4. Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü imkânı sağlayan Robot Teknolojileri ve Akıllı Sistemler Uygulama ve Araştırma Merkezi (ROTASAM)'a ve Doktor Öğretim Üyesi Mustafa Çağrı Kutlu'ya teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Atmaca, V., (2005). *Örme kumaşlardaki üretim hatalarının görüntü işleme teknikleri ile otomatik tespiti ve sınıflandırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bayram, R. B. & Yılmaz E. (2019). Gömülü sistem tabanlı bir hatalı ürün tespit sistemi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 391-400. <https://doi.org/10.17482/uumfd.525696>
- Burkert, F., Butenuth, M. & Ulrich, M.(2011). Real-time object detection with sub-pixel accuracy using the level set method. *The Photogrammetric Record*, 26(134), 154-170. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2011.00633.x>
- Güvenoğlu, E. & Bağırhan, M. (2019). Shearlet dönüşümü ve görüntü işleme teknikleri kullanarak kot kumaş üzerinde gerçek zamanlı hata tespiti. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), 491-502, 2019.
- National Instruments, (2005). *NI Vision, NI Vision for LabVIEW™ User Manual*, Part Number: 371007B-01. Erişim adresi <https://www.ni.com/pdf/manuals/371007b.pdf>
- National Instruments, (2003a). *IMAQ™: IMAQ Vision Concepts Manual*, Part Number: 322916B-01. Erişim adresi <https://www.ni.com/pdf/manuals/322916b.pdf>
- National Instruments, (2003b). *LabVIEW™: User Manual*, Part Number: 320999E-01. Erişim adresi <https://www.ni.com/pdf/manuals/320999e.pdf>
- Ozan, M. (2019). *Yumurta üretim tesisleri için görüntü analiz sisteminin geliştirilmesi ve uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Ozkaya, U., Ozturk, S., Akdemir, B., & Sevfı, L. (2018). An efficient retinal blood vessel segmentation using morphological operations. *In 2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*. 1-7. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2018.8567239>
- Özkan, H. (2012). *Hayvansal üretim endüstrisinde görüntü işleme tabanlı gerçek zamanlı bir kalite kontrol uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Öztürk, Ş. (2015). *Cam üretim hatalarının görüntü işleme tabanlı bulunması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Pınar, Z., Gülağz, F. K., Altuncu, M. A. & Şahin, S. (2020). Denim kumaşlarda görüntü işleme ile hata tespiti. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1609-1620. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.595389>
- Şenel, F. A. & Çetişli, B. (2015). Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5), 158-161, 2015. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.96658>
- Tsai, S. H. & Tseng, Y. H. (2012). A novel color detection method based on hsl color space for robotic soccer competition. *Computers and Mathematics with Applications*, 64(5), 1291-1300. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2012.03.073>
- Yıldırım, Ş. & Ozak, B. (2018). Design and experimental applications of material classification prototype system.

Journal of New Results in Engineering and Natural Science, 8, 148-156.

Yoldaş, M. & Sungur, C. (2020). Alüminyum ekstrüzyon profillerinin hassas kesit ölçümlerinin görüntü işleme teknolojisi ile gerçekleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 190-195. <https://doi.org/10.31590/ejosat.803308>

Zhan, C., Duan, X., Xu, S., Song, Z. & Luo M. (2007). An improved moving object detection algorithm based on frame difference and edge detection. *Fourth International Conference on Image and Graphics*, 519-523 . <https://doi.org/10.1109/ICIG.2007.153>



Isı Transferiyle Çalışan Anemometre Sistemleri

Burak Türüdü^{1*}

^{1*}ARGE /ESİT Elektronik Sistemler İmalat ve Tic. Ltd.Şti, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4571-5782), burakt@esit.com.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009169)

ATIF/REFERENCE: Türüdü, B. (2021). Isı Transferiyle Çalışan Anemometre Sistemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 614-617.

Öz

Rüzgarın yönünün ve hızının ölçülmesine birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgarın yönünü ve hızını ölçmek için kullanılan sistemlere anemometre adı verilmektedir. Anemometre sistemleri sivil ve askeri olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Sivil ve askeri alanlarda kullanılan birden fazla anemometre çeşidi bulunmaktadır. Anemometreler farklı ölçüm prensipleriyle çalışmaktadır. Kullanılacak olan anemometre kullanım alanının koşullarına göre seçilmektedir. Bu çalışmada ısı transferi prensibiyle çalışan anemometre çeşitleri incelenmiştir. Isı transferi prensibiyle çalışan anemometrelerin devre yapıları, ölçüm sistemleri ve kullanılan malzemeler üzerine detaylı bir çalışma yapılmıştır. Isı transferiyle çalışan anemometreler karşılaştırılmıştır. Avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anemometre, Rüzgar, Kızgın telli anemometre, Sabit voltajlı anemometre, Sabit sıcaklıklı anemometre

Heat Transfer Anemometer Systems

Abstract

Measuring the direction and speed of the wind is needed in many areas. Systems used to measure the direction and speed of the wind are called anemometers. Anemometer systems are used in many areas, including civilian and military. There are multiple types of anemometers used in civil and military fields. Anemometers work with different measurement principles. The anemometer to be used is selected according to the conditions of the usage area. In this study, types of anemometers working with the principle of heat transfer were examined. A detailed study has been made on the circuit structures, measurement systems and materials used of anemometers working with the heat transfer principle. Heat transfer anemometers were compared. Advantages and disadvantages are indicated.

Keywords: Anemometer, Wind Measurement, Wind, Hot wire anemometer, Constant voltage anemometer, Constant temperature anemometer

* Sorumlu Yazar: burakt@esit.com.tr

1. Giriş

Günümüzde askeri alanlar başta olmak üzere pek çok farklı alanda rüzgarın hızının ve yönünün ölçülmesi gerekmektedir. Rüzgarın hızının ve yönünün ölçülmesi amacıyla kullanılan sistemlere anemometre adı verilmektedir. Günümüzde kullanılan birçok anemometre çeşidi bulunmaktadır. Bu çeşitlere örnek olarak kepçeli tip anemometre, ultrasonik anemometre, propeller anemometre ve kızgın telli anemometreyi verebiliriz. Kullanılan ortamdaki çevre şartlarına göre kullanılacak olan anemometre seçimi yapılmaktadır. Bu çalışmada kızgın telli anemometre çeşitleri detaylı olarak incelenecek ve karşılaştırılacaktır.

1.1 Kepçe Tip Anemometre

Rüzgar hızı ölçümü için kullanılan geleneksel bir yöntemdir. 19. Yüzyılın ortalarında T.R Robinson tarafından geliştirilmiştir. Bu tip anemometrede kepçe rotorunun bir dönüşü için geçen süreden rüzgarın hızı hesaplanmaktadır. [1]



Şekil 1: Kepçe tip anemometre

1.2. Ultrasonik Anemometre

Rüzgar hızı ve yönünün ölçümü için kullanılan bir yöntemdir. Ultrasonik anemometre, her bir koldan yayılan ses dalgasının diğer kol tarafından alınması sırasında geçen sürenin ölçülmesi prensibi ile çalışmaktadır.[2]



Şekil 2: Ultrasonik anemometre

1.3. Propeller Anemometre

Çalışma prensibi kepçe tip anemometre ile aynıdır. Montaj yönüne göre rüzgarın yataydaki ve dikeydeki hızını ölçebilmektedir.

1.4. Kızgın Telli Anemometre

Rüzgar hızı ve yönü ölçümü için kullanılan bir yöntemdir. Isı transferi prensibiyle ölçüm yapmaktadır. Sabit akımlı anemometre ve sabit sıcaklıklı anemometre olmak üzere 2 ana altbaşlıkta incelenmektedir. Çalışmamızda kızgın telli anemometre çeşitleri birçok açıdan incelenecek ve karşılaştırılacaktır.

2. Materyal ve Metot

Kızgın telli anemometreler diğer anemometrelere göre daha stabil sistemlerdir. Çevresel koşulların anemometre üzerindeki etkisi diğer anemometrelere göre daha az olmaktadır. Kızgın telli anemometreler Askeri ve sivil birçok amaç için kullanılmaktadır. Kızgın telli anemometreler farklı materyallerden yapılabilmektedir ve farklı ölçüm teknikleriyle ölçüm yapılabilmektedir. Bu başlık altında kızgın telli anemometreler detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

2.1. Kızgın Telli Anemometrelerin Kullanım Alanları

Kızgın telli anemometrelerin kullanım alanları askeri ve sivil olmak üzere 2 alt başlıkta incelenebilir.

2.1.1. Askeri kullanım alanları

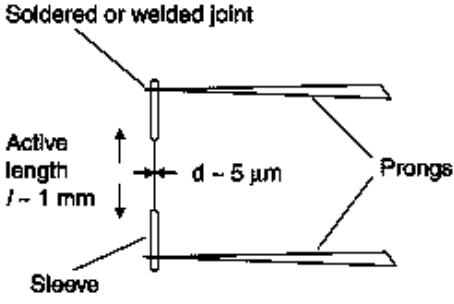
Kızgın telli anemometreler askeri alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tank ve hava savunma sistemi gibi cihazlarda atış öncesi rüzgar yönünü ve hızını hesaba katarak yön düzeltmesi yapılmaktadır. Bu amaçla rüzgarın yön ve hızının tespit edilmesi için güvenilirliği ve çevresel koşullara dayanıklılığı nedeniyle kızgın telli anemometreler kullanılmaktadır.

2.1.2. Sivil kullanım alanları

Kızgın telli anemometreler sivil alanda birçok farklı amaçla kullanılmaktadır. Personel güvenliği için yangınla mücadele, inşaatlar, limanlar ve diğer endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak rüzgar türbinleri, dağ geçitleri, yüksek köprüler gibi rüzgarın etkisinin olağan işleyişi bozma ihtimali olan yerlerde kullanılmaktadır.

2.2. Kızgın telli anemometrelerde kullanılan probe malzemeleri

Kızgın telli anemometrelerde ısıarak rüzgarın ölçümünün yapılmasını sağlayan probda kullanılan malzemeler farklılık göstermektedir. Sensörde kullanılacak malzeme sağlamlık, lehmlenebilirlik, yüksek bir sıcaklık direnç katsayısına sahip olması gibi özelliklere göre seçilmektedir. Bu amaçla kullanılan malzemeler tungsten, platin, platin-iridium alaşımı ve platin rodyum alaşımıdır. [3]



Şekil 3: Örnek prob yapısı

Malzeme cinsi	Maksimum sıcaklık(°C)	Sıcaklık Katsayısı $\alpha(K-1)$
Tungsten	300	0.0047
Platin	1800	0.0038
Platin-İridyum	750	0.00085
Platin-rodyum	1400	0.0016

2.2.1. Tungsten

Tungsten teller sağlamdır ve yüksek sıcaklık direnç katsayısına sahiptir. Fakat lehilenemezler ve kolay oksitlenirler. Bu sebeple problarda kullanım için çok fazla tercih edilmezler.[3]

2.2.2. Platin

Platin teller kolay oksitlenmezler ve sıcaklık direnç katsayıları yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda düşük mekanik mukavemete sahiptirler. Platin prob yapımında tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir.[3]

2.2.3. Platin-İridyum

Platin iridyum alaşımı yüksek sıcaklıklarda kararsız bir alaşımdır. Bu sebeple çok tercih edilmemektedir.[3]

2.2.4. Platin

Platin rodyum alaşımı tungsten ve platin arasında bir bölgededir. Oksitlenmeye karşı dirençlidir ve platinden daha fazla mekanik mukavemete sahiptir. Fakat sıcaklık direnç katsayısı düşüktür.[3]

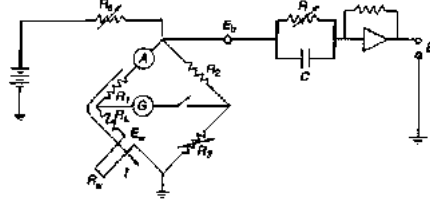
2.3. Kızgın telli anemometre teknikleri

Kızgın telli anemometrelerde temel ölçüm tekniği sensör telinin enerji dengesi prensibine dayanır. Sensör üzerindeki gücün etkisiyle ısınır ve rüzgar etkisiyle soğur. Telin sıcaklık-direnç katsayısı yüksek olması nedeniyle tel direnci sıcaklığa paralel olarak belirgin bir değişim gösterir. Bu değişim üzerinden rüzgar hızı hesaplanır. Kızgın telli anemometreler rüzgar ölçümü yapmak için 2 temel ölçüm yöntemi kullanmaktadır. Bunlar sabit akımlı anemometre ve sabit sıcaklıklı anemometre olarak isimlendirilmektedir. Bu bölümde bu iki anemometre çeşidi detaylı bir şekilde ele alınacaktır. [3][4]

2.3.1. Sabit akımlı kızgın telli anemometre

Sabit akımlı kızgın telli anemometrede hazırlanan elektronik devre sensör probu üzerine sabit akım sağlar. Sensordaki akımı

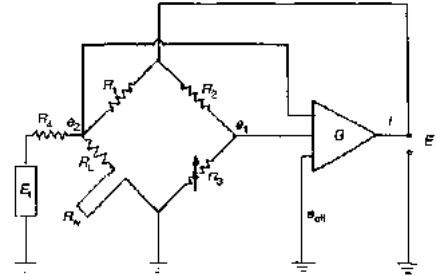
sabit tutmak için sensöre seri olarak büyük bir direnç bağlanır. $R \gg R_{\text{sensor}}(R_w)$ olduğunda akım pratikte $R_{\text{sensor}}(R_w)$ 'den bağımsız olarak alınabilir. Uygulamada Wheatstone köprüsü devresi kurulur. Bu devre sayesinde sabit akımla ısıtılmış olan sensörün direnç değeri ölçülebilir. Sensör direnci değiştiğinden ve üzerindeki akım sabit olduğundan dolayı voltaj değişir. Değişen voltaj sayesinde rüzgar hızı hesaplanır. [3][4]



Şekil 4: Sabit akımlı kızgın telli anemometre devresi

2.3.2. Sabit sıcaklıklı kızgın telli anemometre

Sabit sıcaklıklı kızgın telli anemometrede hazırlanan devre sensör sıcaklığının yani direncinin sabit tutulmasını sağlar. Bu sistemde de rüzgar hızını ölçmek için wheatstone köprüsü kullanılmaktadır. Wheatstone köprüsünde kollara belirli oranlarda dirençler bağlanılır. Sensörün denge durumu sabit tutulacak sıcaklıktadır. Probdan rüzgar geçmesi durumunda sensör soğur ve direnç düşer. Direnç düşümü nedeniyle wheatstone köprüsünde denge bozulur ve opamp çıkışı yükselir. Devre dengeye gelme amacıyla akımı yükseltir ve sıcaklığı aynı seviyeye getirir. Opamp çıkışı üzerinden rüzgar hızı hesaplanır. [3][4]



Şekil 5: Sabit sıcaklıklı kızgın telli anemometre devresi

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Kızgın telli anemometre çeşitleri, devre yapıları incelenmiştir. İkisi arasındaki benzerlikler ve farklılıklara ait karşılaştırmalar sonucu avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Bu bölümde kızgın telli anemometre çeşitlerinin avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. [4][5][6]

3.1. Sabit akımlı kızgın telli anemometrenin avantaj ve dezavantajları

Avantajları

- Yüksek frekans cevabı nedeniyle hız değişimlerine hızlı tepki vermektedir.

Dezavantajları

- Kullanımı zordur.
- Devre çıkış değeri hızla birlikte düşer.
- Proben fazla ısınma sebebiyle yanarak kullanılamaz hale gelme riski vardır.

3.2. Sabit sıcaklıklı kızgın telli anemometrenin avantaj ve dezavantajları

Avantajları

- Kullanımı kolaydır.
- Yüksek frekans cevabı nedeniyle hız değişimlerine hızlı tepki vermektedir.
- Gürültünün devre üzerindeki etkisi düşüktür.
- Standart haline getirilmiş ve daha yaygın kullanılan bir yapıya sahiptir.
- Sensorun hızı tüm rüzgar hızları için sabit tutulduğundan dolayı akış hızının ani değişimlerinde probun yanması engellenir.
- Çıkış geriliminin hız ile lineerleştirilmesi sağlanır.

Dezavantajları

- Kullanımı için gereken devre sabit akımlı kızgın telli anemometre devresine göre daha kompleks bir yapıya sahiptir.

4. Sonuç

Bu çalışmada anemometreler hakkında genel bilgiler verilmiş olup, kızgın telli anemometreler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Devre yapılarından ve çalışma prensiplerinden detaylı olarak bahsedilmiş avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada testlerde kullanılması gereken komponentleri, kızgın telli anemometre problemleri ve test ekipmanları için sağlanan maddi desteklerinden dolayı ESIT Elektronik Sistemler İmalat ve Tic. Ltd. Sti firması yönetim kurulu üyelerinden sayın Ferhat Tigrel ve Serhat Tigrel'e, teknik desteklerinden dolayı AR-GE departmanı müdürü sayın Berk Güldoğan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynakça

- [1] Alvaro Ramos-Cenzano, Elena Lopez-Nunez, Daniel Alfonso-Corcuera, Mike Ogueta-Gutierrez, Santiago Pindado, 2021, On cup anemometer performance at high altitude above ground, Flow Measurement and Instrumentation 79 101956
- [2] Dongwoo Han, Sunghyun Kim, Sekwang Park, October 2008, Two-dimensional ultrasonic anemometer using the directivity angle of an ultrasonic sensor, Microelectronics Journal, Vol 39, Issue 10, S 1195-1199. DOI: 10.1016 / j.2008.01.090
- [3] Giuseppe P.Russo, 2011, Aerodynamic Measurements, From physical Principles to Turnkey Instrumentation, Sayfa 67-98
- [4] Dilek Funda KURTULUŞ, 2010, Experimental Aerodynamics(AR547-EN) ders notları, Ders 8, METU,

<https://ocw.metu.edu.tr/mod/resource/view.php?id=1133>
(Erişim tarihi : 03.06.2021)

- [5] M.A. Kegerise, E.F. Spina, 2000, A comparative study of constant-voltage and constant-temperature hot-wire anemometers, Part 1: The static response, Experiments in fluids 29, Springer-Verlag, sayfa 154-164
- [6] M.A. Kegerise, E.F. Spina, 2000, A comparative study of constant-voltage and constant-temperature hot-wire anemometers, Part 2: The dynamic response, Experiments in fluids 29, Springer-Verlag, sayfa 165-177



Comparison of WIM Systems

Nuri Başar^{1*}

^{1*} ARGE / ESİT Elektronik Sistemler İmalat ve Tic. Ltd. Şti, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6112-3835), nurib@esit.com.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009171)

ATIF/REFERENCE: Başar, N. (2021). Comparison of WIM Systems. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 618-621.

Abstract

Today, it has become a necessity to weigh the vehicles while they are on the move. It can be said that one of the most important factors triggering this is the formation of traffic and therefore the loss of time. In order to prevent these problems, low, medium and high speed weighing processes have been developed in vehicle weighing. Each weighing process has its own software and hardware differences. The sensor used for weighing, the main system to be weighed and the design provide these differences. While vehicle weighing is done with the help of piezoelectric sensors in high speed weighing, vehicle weighing is done with load cells in low and medium speed weighings. Considering all these factors, each weighing process has advantages and disadvantages.

Keywords: low speed weighing, medium speed weighing, high speed weighing, load cell, piezoelectric sensor, indicator.

WIM Sistemlerinin Karşılaştırılması

Öz

Günümüzde taşıtların seyir halinde yani hareket halinde iken tartılması bir ihtiyaç durumuna gelmiştir. Bunu tetikleyen en önemli faktörlerden biri olarak trafiğin oluşması ve bu nedenle zaman kaybının meydana gelmesi söyleyenebilir. Bu olumsuzlukların önüne geçmek için araç tartımında düşük, orta ve yüksek hızlı tartım süreçleri geliştirilmiştir. Her bir tartım süreci kendine has yazılımsal ve donanımsal farklılıklar içermektedir. Tartım için kullanılan sensör, tartımı yapacak olan ana sistem ve tasarım bu farkların ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Yüksek hızlı tartımda araç tartımı piezoelektrik sensörler yardımı ile yapılırken, düşük ve orta hızlı tartımlarda araç tartımı yük hücreleri ile yapılır. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında her bir tartım sürecinin avantaj ve dezavantajları vardır.

Anahtar Kelimeler: düşük hızlı tartım, orta hızlı tartım, yüksek hızlı tartım, yük hücresi, piezoelektrik sensör, indikatör.

* Sorumlu Yazar: nurib@esit.com.tr

1. Giriş

Trafikte, denetim istasyonlarında, taşıma işlemlerinin gerçekleştiği fabrikalarda ve çeşitli çalışma sahalarında denetim ve güvenlik için araç tartımları yapılmaktadır. Saha ve çevre koşullarına göre bu araç tartımları düşük, orta ve yüksek hızda yapılabilmektedir.

Yavaşlamanın gerekmediği ve daha hassas bir sonuç elde edebilmenin ön planda olduğu koşullarda düşük hızlı tartım yapılması seçilmektedir. Genellikle yol kenarı tartım istasyonlarında hem tartımdaki doğruluğu daha iyi yakayabilmek hem de trafiğin oluşmasını engellemek amacıyla orta hızlı tartım yapılmaktadır. Yüksek hızlı tartım ise otoyollarda ve bazı yol kenarı denetim istasyonlarındaki sıkışıklığı önlemek için öncesinde ön ihbarı sağlamak amacıyla yapılmaktadır.

Ayrıca bu tartım süreçlerinde aracın uzunluğu ve geçiş hızı gibi ek bilgiler de sistemi ekstra bilgilendirme, doğruluk sağlama, ve karşılaştırma yapabilmek için imkan sağlamaktadır. Bu tartımlar da genellikle indikatör dediğimiz tartım yapan ana cihaz ve tartımda kullanılan yük hücresi ve piezoelektrik sensörler bulunmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Üç farklı tartım için farklı tartım sensörleri kullanılmıştır. Bunlar, düşük hızlı tartımda yük hücrelerinin kullanıldığı aks kantarı, orta hızlı tartımda yine yük hücrelerinin kullanıldığı tartım platformu, yüksek hızlı tartımda ise piezoelektrik sensörler tartım için kullanılmıştır. Bu süreçler için tartımın nasıl gerçekleşeceği ve kullanılan sensörler her tartım süreci içerisinde adım adım incelenmiştir.

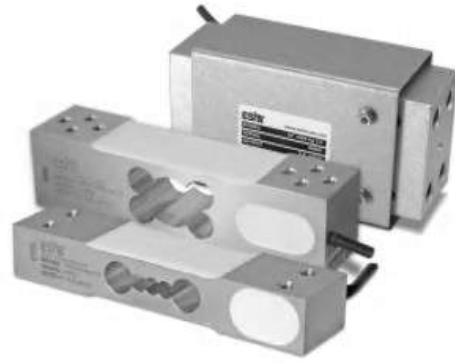
2.1. Düşük Hızlı Tartım Sistemi

Düşük hızlı tartımda aks kantarı kullanılmıştır. Aks kantarı temelinde yük hücrelerini barındıran bir platform yapısındadır. Sabit aks kantarı taşıtların aks ağırlıklarının ve toplam ağırlığının kontrol edilmesi amacıyla kullanılır. Aks kantarı statik ve dinamik olarak çalıştırılabilir. Statik çalışmada taşıtın her bir aksı platform üzerinde durdurularak tartılır, dinamik çalışmada ise taşıt platform üzerinden yaklaşık 7 km hızla geçirilerek tartılır.

Denemelerde taşıtın sabit aks kantarı üzerinden düşük hızda geçirilmesi ile tartım gerçekleştirilmiştir. Tartım sürecinde kantar öncelikle kullanılan indikatör ile dinamik modda çalışmaya alınmış ve sonrasında kantarın üzerinden araç geçişi ile tartım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu modda araç düşük hızda aks kantarı üzerinden geçtikten sonra indikatör sayesinde ağırlık verileri alınmıştır. Burada teknik açıdan da aks kantarının sabit montajı olabileceği, korumalı bir tartım platformu olduğu, toz, çamur, su ve kardan etkilenmeyecek bir tasarıma da sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1 Aks kantarı



Şekil 2 Yük hücresi

2.2 Orta Hızlı Tartım Sistemi

Orta hızlı tartım işleminde tartım platformu kullanılmıştır. Bu tartım platformu içerisinde yük hücreleri barındırır. Tasarımı montajına ve üzerinde araç geçişi esnasında tartıma uygun şekilde yapılmıştır.



Şekil 3 Tartım platformu

Bu tartım platformu Şekil 3 de görüldüğü üzere zorlu hava koşullarında da çalışabilecek ve dayanıklılık gösterebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu platform ile tartım süreci araç tekerleri

üzerinden geçtiğinde, ölçüm plakaları içine yerleştirilmiş sensörler teker ağırlıklarına bağlı olarak elektronik bir sinyal üretir. Bu sinyal kullanılan indikatör sayesinde ağırlık değerine dönüştürülür.

Tartıma başlanırken araç platformun üzerinde geçirilmiştir ve tartım sonucu indikatör sayesinde gözlenmiştir. Bu tartım platformu kullanılarak yapılan geçişler ile 10 ile 60 km/h hızları arasında tartım yapılabilmektedir. 40 tonu bulan kapasite ile orta hızlı araç tartımında uygun olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4 Portatif tartım indikatörü

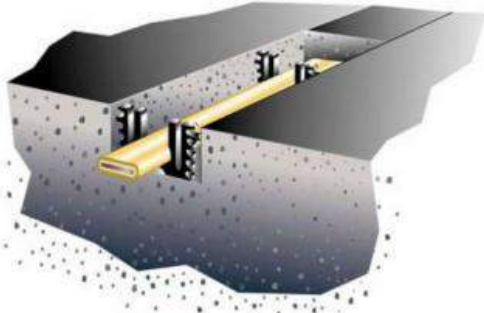
2.3 Yüksek Hızlı Tartım Sistemi

Otoyollarda ve şehirler arası karayollarında trafik normal seyrinde iken araç tartımının yapılabilmesi yüksek hızlı tartım sistemleri ile gerçekleşmektedir. Bu tartım sistemlerinde asfalt üzerine montajı mümkün olan özel piezoelektrik trafik sensörleri kullanılır.



Şekil 5 Piezoelektrik sensör

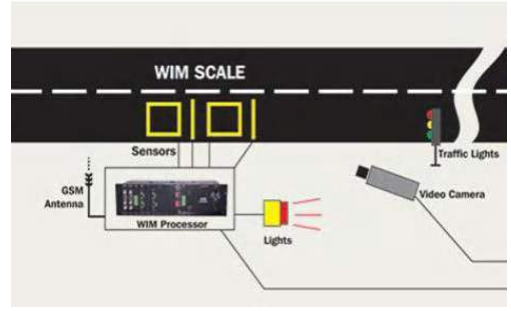
Bu sensör çeşitli laboratuvar testleri sonucu çıkışında verdiği doğruluğa göre kategorilere ayrılmıştır. Araç tartımı tartım sürecinde kategori 1 türünde (Class-I) sensör kullanılır. Sensör uzunluğu 3.5 metre olduğu için yolda bir şeridi hemen hemen kaplayacak şekildedir. Asfalt üzerinde sensör montajı için kanal açıldıktan sonra sensör yerleşimi yapılır ve üzeri asfalt ve sensör ile uyum sağlayan kimyasal ile kaplanır.



Şekil 6 Piezoelektrik sensör montajı

Araç tartımı otomatik olarak gerçekleşeceği için bu tartım sürecinde aracın tartım alanına girdiğinin anlaşılması için loop sensörleri kullanılır. Bu sensörler manyetik alan kurallarına göre

çalışır ve üzerine metal cisim geldiği zaman belirli sürede ayarlanılabilen bir çıkış verir.



Şekil 7 Yüksek hızlı tartım alanı örnek çizimi

Tartım işleminde piezoelektrik sensörler araç geçişi sırasında ağırlığa bağlı olarak çıkış verirler. Bu çıkış, kullandığımız "WIM" cihazı ile anlamlı hale getirilir. WIM cihazı içerisinde sinyal işleme ve kullanıcıya veri aktarımı barındıran donanımsal ve yazılımsal içerikler barındırır.

Tartım yapılırken taşıt yüksek hızda yani 20 km/h ile 120 km/h hızları arasında geçiş yapmıştır. Taşıt loop sensörleri üzerine geldiği andan itibaren tartım başlamış ve tamamen tartım alanı dışına çıktığında son bulmuştur. Bu sistem sayesinde tüm aks ağırlıkları, aks mesafeleri, araç hızı ve araç sınıfı gibi tüm bilgilerde elde edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Üç farklı tartım süreci incelenmiş olup, her süreç için araç geçişi ile ağırlık ölçümü yapılmıştır. Düşük hızlı tartımda elde edilen veriler Tablo 1. deki gibidir.

Tablo 1. Düşük hızlı tartım sonuçları

Hız (km/h)	Taşıt Ağırlığı	Ölçülen Ağırlık	Hata (%)
10.43	34560	34432	0,37
10.23	34560	34409	0,44
10.13	34560	34193	1.06
5.29	34560	34432	0.37
5.2	34560	34428	0.38
5.34	34560	34421	0.40

Burada taşıt çeşitli düşük hızlarda geçişler yapmıştır ve indikatör sayesinde aks kantarı ile yapılan ölçümde sonuçlar gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her bir geçiş için tartım yapıp taşıtın bilinen gerçek ağırlığını kullanarak hata payı hesaplanmıştır.

Orta hızlı tartım işleminde her geçiş sonrasında tartım sonucu kullanılan indikatör yardımı ile okunmuştur ve elde edilen bilgiler Tablo2. de ki gibidir.

Tablo 2. Orta hızlı tartım sonuçları

Hız (km/h)	Taşıt Ağırlığı	Ölçülen Ağırlık	Hata (%)
19	37190	37880	1.86
22	37190	35800	3.74
19	37190	37720	1.43
20	37190	36460	1.96
16	37190	36880	0.83
20	37190	36660	1.43

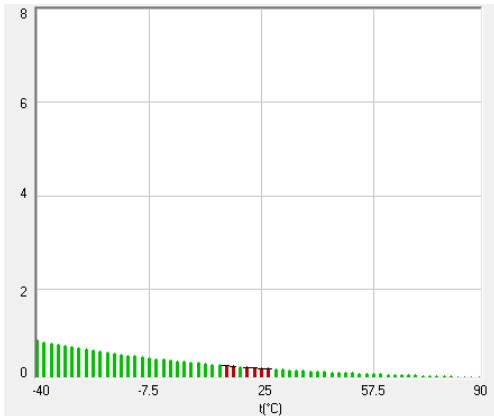
Orta hızlı tartım aşamasında kullanılan taşıtın hızı hemen hemen 19-20 km/h e yakın olacak şekilde test edilmiştir. Bilinen taşıt ağırlığı sayesinde her ölçülen ağırlık için hata oranı hesabı yapılmıştır.

Bir diğer tartım işlemi yüksek hızda tartımdır. Burada araçlar tartım alanı üzerinde 70-80 km/h hızlar ile geçirilmiştir. Elde edilen sonuçlar WIM cihazından alınıp gerçek taşıt ağırlığı ile karşılaştırılmak üzere tabloya aktarılmıştır.

Tablo 3. Yüksek hızlı tartım sonuçları

Hız (km/h)	Taşıt Ağırlığı	Ölçülen Ağırlık	Hata (%)
78.9	12640	12314	2.58
78.7	12640	12632	0.06
78.3	12640	11998	5.07
78.7	12640	12303	2.67
78.5	12640	12388	1.99
78.6	12640	12450	0.01

Yüksek hızlı tartımda bir diğer önemli etken sıcaklık değişimidir. Kullanılan piezoelektrik sensör yapısı gereği asfalta montajı yapıldıktan sonra tartımlarda hava sıcaklığına göre değişen asfalt sıcaklığına bağlı olarak verdiği çıkış değişmektedir. Bu da soğuk ve sıcak havalarda bir kalibrasyon ile düzeltilme gereksinimini ihtiyaç haline getirmiştir. Bu düzeltme değişen sıcaklıklarda araç geçişleri yapılarak elde edilen veriler ile exponansiyel eğri oturtma yöntemi sayesinde her sıcaklık için katsayı hesaplama ile mümkün olmaktadır.



Şekil 9 Piezoelektrik sensörün sıcaklığa bağlı hesaplanan katsayı grafiği

Bu test çalışmalarında düşük hızlı, orta hızlı ve yüksek hızlı tartım işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir. Bu ağırlık sonuçlarına göre yüksek hızlı tartımda en fazla hata payı meydana geldiği, düşük hızlı tartımda ise en az hataların meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Bir diğer yandan yüksek hızlı tartımın işlem süresi düşük ve orta hızlı tartım süresinden daha kısadır. Bu da tartımda avantaj sağlamaktadır. Çünkü tartım süresinin artması yoğun tartımın olduğu sahalarda doğrudan oluşan trafiği de olumsuz etkileyecektir.

Bir diğer karşılaştırma konusu olarak da maliyet ortaya çıkmaktadır. Yüksek hızlı tartımda kullanılan piezoelektrik sensör maliyeti, düşük ve orta hızlı tartımda kullanılan yük hücresi maliyetine oranla oldukça fazladır. Ayrıca sensörlerin kurulum maliyetinde yine yüksek hızlı tartımda diğerlerine göre daha fazladır.

Yüksek hızlı tartımda kullanılan piezoelektrik sensörler sıcak ve soğuk havalarda değişen asfalt sıcaklığına bağlı olarak verdiği çıkış değişmektedir. Bu yüzden sıcaklığa bağlı detaylı bir kalibrasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yönden diğer iki tartımda sıcaklığa bağlı ani bir değişim olmadığı için yüksek hızlı tartımda bu bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

4. Sonuç

Düşük, orta ve yüksek hızlı tartımlarda kullanılan tartım sensörlerine ve platformları göz önüne alındığında yüksek hızlı tartımda kullanılan piezoelektrik sensörün asfalt üzerinde kullanım ömrü ortalama 5-7 yıldır ama düşük hızlı tartım sisteminde kullanılan aks kantarı ve orta hızlı tartımda kullanılan tartım platformunun ortalama kullanım ömrü ortalama 10-20 yıldır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada tartım testlerinde kullanılması gereken sensörler, indikatörler, geçiş için kullanılan taşıtlar ve diğer kullanılan elektronik ölçüm aletleri için sağlanan maddi desteklerinden dolayı ESIT Elektronik Sistemler İmalat ve Tic. Ltd. Sti firması yönetim kurulu üyelerinden sayın Ferhat Tigrel ve Serhat Tigrel'e, teknik desteklerinden dolayı AR-GE departmanı müdürü sayın Bekir Berk Gündoğan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynakça

- [1] Srikanth K B, Poornima G, 2020, Weigh-In-Motion Sensor Based Electronic Toll Collection System, IEEE, 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), DOI: 10.1109/WorldS450073.2020.9210394
- [2] Lubomir Scholtz, Michaela Hola, 2020, Simulations of As2S3 Fiber Bragg Grating for Weigh in Motion Applications, IEEE, 2020 New Trends in Signal Processing(NTSP),DOI:10.1109/NTSP49686.2020.9229531
- [3] Carl Haas, Susan Tighe,2007, Evaluating Weigh-In-Motion Sensing Technology for Traffic Data Collection, No Road-No Load: Enabling the Economy while Protecting Pavement Structures Session



Tork Sensöründe Kullanılan Teknolojiler

Hamza Işık^{1*}

^{1*} Esit Elektronik Sistemler İmalat ve Ticaret, Ar-Ge Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3612-9071), hamzai@esit.com.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009173)

ATIF/REFERENCE: Işık, H. (2021). Tork Sensöründe Kullanılan Teknolojiler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 622-626.

Öz

Günümüzde gelişen endüstriler için tork ölçümü dönen mekanik sistemlerin gücünü karakterize etmek amacıyla kullanılan önemli bir parametredir. Tork ölçümleri iki ana kategoride incelenebilir; dinamik ve statik tork ölçümü. Statik tork ölçümü, ölçülen parçaların dengeleme ilkesini kullanarak tork miktarını belirler. Dinamik tork ölçümünde, ölçülen mil sürekli olarak dönme durumunda olduğu ve dönüş hızı sürekli olarak değiştiği için düzgün ölçüm almak oldukça zordur. İlerleyen teknoloji ile dinamik tork ölçümü yapabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu makale dinamik tork ölçümünde kullanılan sensörler ve çalışma prensiplerinden bahseder. Dinamik tork ölçümünde direnç gerinim ölçer (strain gauge), yüzey akustik dalga (surface acoustic waves (SAW)), manyeto-elastik, gibi çeşitli tork algılama teknolojileri vardır. Ortam koşullarına, tasarlanan sistemin yapısına göre kullanılan sensörlerin avantaj ve dezavantajları vardır.

Anahtar Kelimeler: Direnç Gerinim Ölçer, Manyeto Elastik, Yüzey Akustik Dalgalar.

Technologies Used in Torque Sensor

Abstract

Torque measurement is an important parameter used to characterize the power of rotating mechanical systems for developing industries. Torque measurement can be examined in two main categories; dynamic and static torque measurement. Static torque measurement determines the amount of torque using the principle of balancing for the measured parts. In dynamic torque measurement, it is very difficult to get a proper measurement because the measured shaft is constantly in rotational state and the rotational speed is constantly changing. Various methods have been developed to measure dynamic torque with the advancing technology. This article talks about sensors used in dynamic torque measurement and their working principles. In dynamic torque measurement, there are various torque sensing technologies such as resistance strain gauge, surface acoustic waves (SAW), magneto-elastic. The sensors used according to the ambient conditions and the structure of the designed system have advantages and disadvantages.

Keywords: Resistance Strain Gauge, Surface Acoustic Waves, Magneto-Elastic.

* Sorumlu Yazar: hamzai@esit.com.tr

1. Giriş

Tork sensörleri endüstriler üretim süreçlerinden, uzay ve havacılık ürünleri, biyomühendislik, gemi ve denizaltı motorları, rüzgâr türbinleri, robotik, sağlık ve daha birçok alanın gelişiminde önemli ölçüde rol oynar. Tork sensörünün endüstride kullanılmasının temel amacı, motorun veya herhangi bir güç cihazının dönme şaftına uygulanan gücü karakterize etmektir. Tork ölçüm yöntemleri iki farklı kategoride incelenebilir; dinamik ve statik ölçüm. Statik tork ölçümü, ölçülen parçaların dengeleme ilkesini kullanarak tork miktarını belirler [1].

Dinamik tork ölçümünde, ölçülen mil sürekli olarak dönme durumunda olduğu ve dönüş hızı sürekli olarak değiştiği için düzgün ölçüm almak oldukça zordur. Dinamik tork miktarını hızlı ve doğru bir şekilde ölçmek önemli araştırma konularından biri haline geldi. Bu araştırmalar sonucu farklı yöntemler kullanılarak tork ölçümü büyük oranda doğru ve hızlı sonuçlar elde edecek şekilde tasarımlar yapıldı.

Günümüzde direnç gerinim ölçer (strain gauge), yüzey akustik dalga (surface acoustic waves (SAW)), manyeto-elastik, gibi çeşitli tork algılama teknolojileri vardır [1]. Direnç gerinim tork sensörlerinin yapıları oldukça basit ve hafiftir. Mil üzerine küçük boyutlarda bir gerinim ölçerin (strain gauge) yapıştırılmasıyla tork ölçümü mümkündür. Ayrıca, ölçülen parçaların çalışma koşulları ve gerilim dağılımı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Ancak yapıları dönen mile bağlı olduğu için yüksek hızdaki dönüşlerde dinamik balans sorunları kolaylıkla oluşabilmektedir. Ek olarak, zaman ve sıcaklık kayması büyüktür, çıkış sinyali zayıftır, ürünün güvenilirliği düşüktür ve genel doğruluk yüzdesi çok yüksek değildir [1]. Yüzey akustik dalgaları (SAW) cihazları düşük güç tüketimi ve çeşitli ölçümler yapmak için son derece hassas sensörlerdir. SAW sensörleri, havacılık yapılarının içinde bulunduğu zorlu ortamlarda çalışabilen küçük pasif kablosuz sensörler olarak tasarlanabilirler [2,3]. Manyeto elastik tork sensörleri, uygulanan kuvvetin neden olduğu mekanik gerilmelerin etkisi altında ferromanyetik çekirdekteki manyetik alan geçirgenlik değişimi ilkesine dayanır. Yüksek hassasiyet ve çıkış gücü, büyük mekanik mukavemet ve aşırı yüklenmeye karşı kararlılık, atmosferik ve kimyasal faktörlerin zayıf etkileri ve uzun ömürlü olması manyeto elastik tork sensörlerini önemli özelliklerindedir [4].

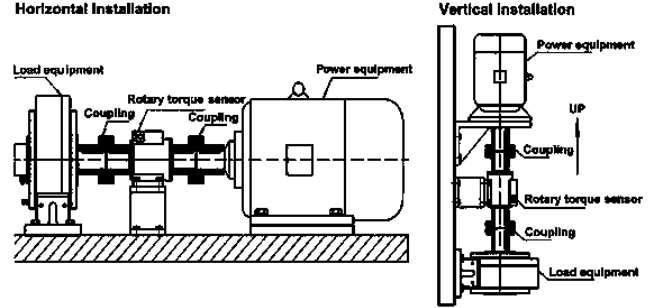
Bu ölçme teknolojilerinin temel amacı mekanik gerginimi ölçüp elektriksel sinyallere dönüştürmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Dinamik Tork Sensörü

Dinamik tork sensörü, sürekli dönen bir sistemdeki tork miktarını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Tork transdüserleri, birçok endüstrinin gelişimi ve testlerinin yapılması için çok önemlidir. Örneğin; Otomotiv Endüstrisinde, tork sensörü, herhangi bir üretim veya montaj hattında, bir vardiya boyunca sürekli olarak iki veya üç yüzün üzerinde elektrikli aletin

testlerinde ve üretiminde kullanımda olabilir. Bu aletler, otomobil motorları ve frenler gibi önemli bağlantıları ve bileşenleri sıkmak için doğru tork seviyelerini uygulamalıdır, aksi takdirde bu, ürün arızasına ve potansiyel olarak daha ciddi sorunlar neden olabilir. Otomotiv endüstrisinde, tork seviyelerinin doğru bir şekilde uygulandığından emin olmak için alet testi ve bağlantı elemanı kalite denetimi süreçlerinde tork transdüserleri kullanılır.



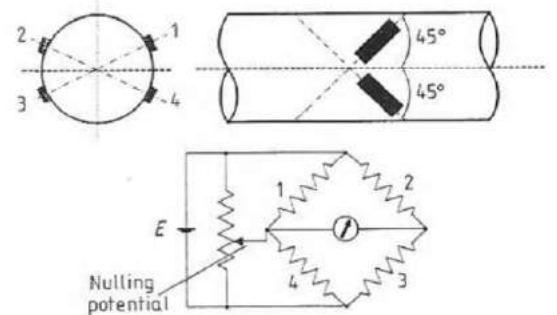
Şekil 1 Dinamik Tork Ölçüm Bileşenleri

2.2. Dinamik Tork Sensöründe Kullanılan Teknolojiler

Zaman içerisinde endüstrilerin tork ölçüm ihtiyaçlarına bağlı olarak, milin üzerinde meydana gelen burulma etkilerini ölçmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Geçmiş literatürlerden veya mevcut ticari ürünlerden, büküm açısı veya faz kayması (burulma sapması) ölçümü, gerinim ölçer (Strain gauge), manyeto-elastik tork sensörleri ve SAW tork sensörleri kullanan dinamik torkmetre türlerini bulabiliriz.

2.2.1. Direnç Gerinim Ölçer (Strain-Gauge) Tork Sensörü

Gerinim ölçer tork sensörlerinin çalışma prensibi, şaftın esnek bir bölümündeki gerilimi ölçmektir. Bu durumda, dört strain-gauge, Wheatstone köprü devresi olarak dönen şafta takılır. İlk iki gerinim ölçer şaft ekseninin bir tarafında $\pm 45^\circ$ de sabitlenir ve diğer iki gerinim ölçer de Şekil 2' de gösterildiği gibi şaftın diğer tarafında aynı şekilde hazırlanır.



Şekil 2 Strain-Gauge şaft üzerindeki yerleşimi

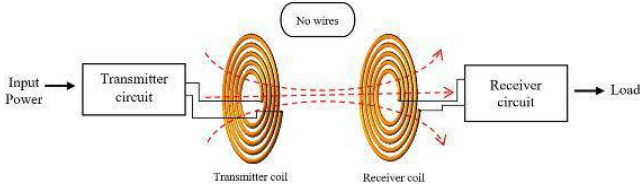
Bu durumda, mile tork uygulandığında mil üzerinde bir gerilim oluşur. Çekme gerilimini ölçen bir strain-gauge çifti devre direncini arttırır, diğer yandan sıkıştırma gerilimini ölçen diğer strain-gauge çifti devre direncini azaltır. Bu iki nokta arasında ölçülen voltaj gerilim farkı uygulanan tork miktarıyla orantılı olarak artar veya tersine uygulanıyorsa azalır.



Şekil 3 Metalik gerinim ölçer (Strain-Gauge)

2011 yılında Harish, 5Nm'lik yüksek mukavemetli alüminyum alaşımdan yapılmış bir tork transdüseri tasarladı. Bu yöntemin prensibi analitik yöntemle olup, sonlu elemanlar analizi ile de ispatlanmıştır. Şekil 3, algılama elemanının katı kare bir eleman olduğunu, tork uygulandığında elastik deformasyona uğradığını ve deformasyonun üzerine sabitlenmiş gerinim ölçerler tarafından tespit edildiğini göstermektedir [6].

Gerinim ölçer metodu ile tork ölçmenin bazı zorlukları vardır. Bunlardan başlıca olanı; statik ve dinamik kısımlar arasındaki güç ve data aktarımını sağlayabilmek. Bu problem için kayma halkaları güç ve data aktarımında çözümlerden biri olarak kullanılabilir ancak temiz olmayan koşullar altında çalıştığı zaman tam güvenli bir sistem olamaz. Öteki bir çözüm yolu ise kablosuz olarak güç ve data aktarımını sağlamak. Bu sistemde güç aktarımı, birbirinin içine sığacak şekilde tasarlanmış iki bobin ile sağlanabilir.



Şekil 4 Kablosuz güç aktarım şeması

Şekil 4' de görüldüğü gibi güç aktarımı karşılıklı iki bobin üzerinden gerçekleşir. Güç gönderecek taraf bobin üzerindeki manyetik alanı değiştirir, karşısında bulunan bobin üzerinde manyetik alan değişimi nedeniyle bir akım meydana gelir. Doğrultucu bir devre ile bu akım güç kaynağı olarak kullanılabilir.



Şekil 5 Kablosuz güç aktarımı uygulaması

Kablosuz güç aktarımı yaparken aynı zamanda aynı bobin üzerinde data alışverişine izin veren teknolojiler mevcuttur, ancak data alışverişi çok yüksek hızlara çıkamadığından dolayı tork sensöründe bobin üzerinde data aktarımını sağlamak ihtiyaçları karşılayamayacaktır. Bu nedenle farklı bir çözüm sunulması gerekmektedir. RF haberleşmesi bu sorunu çözmek için kullanılabilir.

Gerinim ölçer yöntemi yirmi yıl öncesine kadar tork ölçümü için kullanılan en yaygın yöntemdi. Bunun nedeni, bu yöntemde sunulan herhangi bir sürtünme torku olmamasıdır. Ek olarak sıcaklık değişimlerinden çok fazla etkilenmez ayrıca bükülme ve eksenel gerilmelere karşı duyarlıdır.

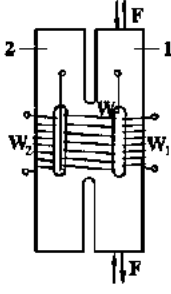
2.2.2. Manyeto-Elastik Tork Sensörü

Dış kuvvetlerin neden olduğu mekanik streslerin etkisi altında bir ferromanyetik çekirdekteki manyetik geçirgenlik değişimine dayanırlar. Bütün bunlar, yüksek hassasiyet, büyük çıkış gücü, büyük mekanik mukavemet ve aşırı yüklenmeye karşı kararlılık, atmosferik ve kimyasal faktörlerin zayıf etkileri, uzun ömür ve uzun ömür gibi en önemli bir dizi olumlu özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Dinamik özellikler sayesinde dönüştürücüler, çok sayıda endüstriyel kuvvet ölçüm cihazında önemli bir uygulama alanı bulmuştur.

Manyeto-elastik tork sensörleri iki kategoride incelenebilir; endüktif ve karşılıklı endüktif. Hem endüktif hem de karşılıklı endüktif dönüştürücüler, tek ve diferansiyel olarak gerçekleştirilebilirler. Diferansiyel transdüserler ile ilgili ölçüm sargıları, mekanik gerilmelerin zıt işaretlere (çekme ve sıkıştırma) sahip olduğu manyetik çekirdeğin kısımlarında düzenlenir. Bu dönüştürücüler, tekli olanlara göre daha yüksek hassasiyet, dış parazit faktörlerin etkisine karşı daha iyi koruma (daha yüksek doğruluk), daha rasyonel ölçümler için bağlantı gibi önemli avantajlara sahiptirler.

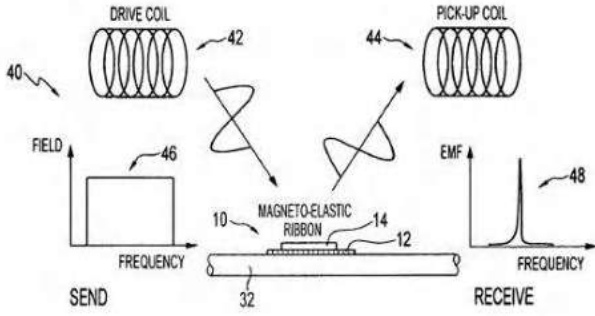
Dönüştürücünün H-şekilli manyetik çekirdeği, Şekil 6, ifade edilmiş manyeto elastik özelliklere sahip ferromanyetik malzemeden yapılmıştır. Dar dikdörtgen açıklıklar, çevresinde birbirinden bağımsız iki kapalı manyetik kontur oluşturan dikey

sütunları 1 ve 2' de işlenir. Dönüştürücünün çalışma prensibi, sargıların düzenine ve kuvvet uygulama şekline bağlıdır [4].



Şekil 6 Manyeto-elastik transdüseri yapısı [4]

Manyeto-elastik tork sensörü, alt tabaka ve manyeto elastik algılama bileşenlerinden oluşur (Şekil 7). Manyeto-elastik algılama bileşeni ve alt tabaka dış bir kuvvete maruz kaldığında, uygulanan kuvvete karşılık, manyeto-elastik tabaka karakteristik frekansını doğrusal olarak değiştirir.



Şekil 7 Manyeto-elastik rezonatör kullanarak tork algılama sistemi [Bunyer, Scott L, 2007]

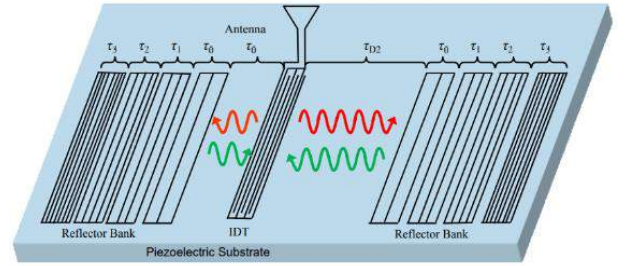
Manyeto-elastik enerjinin baz alınan düzlemindeki titreşimleri uyararak için birleştirildiği bir yolu indükleyerek manyeto-elastik sensörün bir rezonatör frekansına dayalı tork temelli bilgi üretir. Bu cihaz yaklaşık $\pm\%1$ 'lik bir doğruluk sağlayabilir.

2.2.3. Yüzey Akustik Dalgaları (SAW)

SAW tork cihazları, çok yüksek frekans modülasyonlu gerilime duyarlı ve bir elektrik sinyalini aynı frekansta akustik bir sinyale dönüştürme yeteneğine sahip elemanlardır. Yayılma hızındaki büyüklük mertebesindeki azalma nedeniyle, SAW cihazı çok daha küçük bir dalga boyuna sahiptir, bu da çok küçük bir pakette bir RF sinyalinin manipülasyonuna izin verir. Bu nedenle, bir SAW cihazını, şafttaki gerilmenin neden olduğu rezonans frekansındaki değişikliği ölçmek için kullanılabilen, frekansa bağlı bir gerinim ölçer olarak düşünebiliriz. Dinamik tork ölçümü için, SAW cihazı, sinyali şafttan sabit bir toplayıcıya iletmek için bir RF çiftine ihtiyaç duyar. Yaklaşık $\pm\%0,35$ toplam

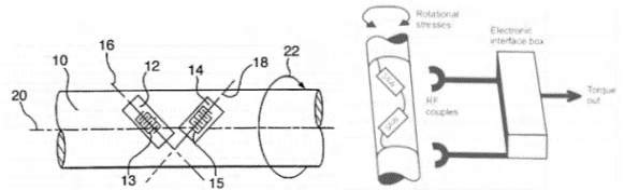
sistem doğruluğu sağlayan $\pm\%0,25$ doğruluk sunan nispeten düşük maliyetli bir cihazdır (patent Magee, 2007).

İki kümede dört adet ortogonal frekans kodlu (OFC) reflektör kullanan basit bir SAW sensörü Şekil 8'de gösterilmektedir. OFC kodlu bir cihazda, her bir reflektörün tepe frekansı, diğer tüm reflektörler için minimumda gerçekleşir. Anten tarafından toplanan radyo frekansı (RF) enerjisi, interdigital dönüştürücü (IDT) tarafından malzemenin yüzeyindeki elektrik enerjisinden mekanik dalgalara dönüştürülür. IDT çift yönlüdür ve bu nedenle iki yönde dalgalar üretir. Dalgalar alt tabaka boyunca ilerler ve her bir özdeş reflektör kümesini oluşturan dört reflektör ızgarasıyla karşılaşır. Dalgalar, elektrik enerjisine dönüştürüldüğü IDT'ye geri yansıtılır ve daha sonra antenden RF enerjisi olarak yayılır [2].

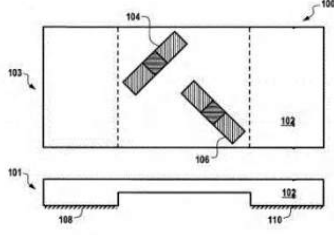


Şekil 8 Anten ve Dört OFC reflektör içeren iki sıralı SAW dönüştürücü [2]

Zaman gecikmeli kodlamada, her reflektör, aynı reflektör bankasındaki bir sonraki reflektör için mevcut olan enerji miktarını azaltır. Bununla birlikte, frekans kodlamasında, OFC reflektörleri IDT'nin frekans bant genişliğini böler ve her biri bant genişliğinin farklı bir parçasını yansıtır. Bu teknik, bant genişliği boyunca maksimum miktarda enerjinin sorgulayıcıya geri yansıtılmasını sağlayarak cihazı çok verimli hale getirir. Her bir sensöre benzersiz bir tanımlama kodu vermek ve çok yönlü RF ortamlarında sağlam çalışma için yayılmış spektrum iletişimini dahil etmek için her bankada birden fazla OFC reflektör ızgarası kullanılır. Bu, aynı ölçüm sisteminde çok sayıda benzersiz şekilde tanımlanmış sensörün kullanılmasına izin verir. Bu örnekte sadece frekans çeşitlemesi kullanılsa da kod sayısını artırmak için faz kodlama ve zaman bölmeli çoğullaşma eklenebilir [2].



Şekil 9 SAW tabanlı torkmetre blok şeması



Şekil 10 SAW Tork sensörü sistem diyagramı

SAW sensörlerin parmak genişlikleri, gerginlik altında artarken sıkıştırma altında parmak genişlikleri azalır. Bu durumda ters orantılı olarak parmak genişliğindeki artış frekansın azalmasına yol açarken; parmak arasındaki azalma, frekansın artmasına yol açar.

SAW cihazları, karmaşık sinyal işleme fonksiyonlarını sağlamak için tasarlanabilme, düşük maliyet, zorlu ortamlara karşı daha mukavemetli olma, tekrarlanabilirlik ve doğruluk sağlama gibi bazı avantajları mevcuttur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu araştırma sonuçlarında mekanik sistemlerde tork ölçümü için kullanılan çeşitli yöntemler anlatılmıştır. Mekanik sistemin gereksinimine göre kullanılacak olan yöntemin sistem gerekliliklerini karşılamalı, aynı zamanda çok hassas olması gerektiği takdirde farklı yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Tork ölçümünde farklı yöntemlerin sunmuş olduğu avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurarak mekanik sisteme kolay entegre edilebilmesi ve ölçüm hassasiyeti ve doğruluğu göz önünde bulundurularak seçim yapılmalıdır.

4. Sonuç

Tork mekanik sistemlerin önemli bir parametresidir. Tork ölçümü dönen parçaların gücünü karakterize etmek için başvurulan yöntemlerin başında gelmektedir. Bir dönme şaftının torkunu algılama yöntemi ve gerçek zamanlı sinyal işleme mekanik ekipmanlar için anahtar teknolojidir. Dönme mili kompakt (katı, yoğun) bir yapıya ve dar bir alana sahiptir. Bu nedenle dönme miline bir sensörün sinyal iletimini ve güç kaynağı cihazını takmak zordur. Bu zor sorunları çözmek için farklı çözüm yöntemlerinden yararlanılarak dönen milin mekanik torkunun güvenilir, hassas ve kararlı bir şekilde tespit edilebilmesi farklı yöntemler ile elde edilebilmektedir. Tork ölçümünün zorlukları gelişen teknoloji ile yeni tip ölçüm sistemlerini ortaya çıkarmıştır. İlerleyen teknoloji ile dinamik tork ölçüm metotlarında da ilerleme olacağı çok aşikardır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada testlerde kullanılması gereken test kartları ve ekipmanları için sağlanan maddi desteklerinden dolayı ESIT Elektronik Sistemler İmalat ve Tic. Ltd. Sti firması yönetim kurulu üyelerinden sayın Ferhat Tigrel ve Serhat Tigrel'e, teknik desteklerinden dolayı AR-GE departmanı müdürü sayın Berk Güldoğan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynakça

- [1] Chao Zhang, Zhipeng Li, Jie Chen, Feng Qiu, Shaodan Na, 2021. Design and research of a novel non-contact vertical inductive torque sensor, s.1-2. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109252
- [2] William Wilson, Gar Atkinson, 2011. Surface Acoustic Wave Strain Sensor Model s.1-2.
- [3] Chih-Jer Lin, 2012. Study on Wireless Torque Measurement Using SAW Sensors DOI: 10.5772/36452 · Source: InTech
- [4] Georgi Ianakiev Trendafilov, 1996. Magnetoelastic Force-Measuring Transducer [Google Scholarship]
- [5] Beckwith, T.G., Marangoni, R.D. and Lienhard, J.H. (1993) Mechanical Measurements, 5th ed. USA:Addison-Wesley Publishing Company.
- [6] Harish. K, Ani. K and Sanjiv. G. (2011) Design Studies and Testing of Torque Transducer. Indian Journal of Pure and Applied Physics Vol. 49, pp.653-656



Akıllı Kalite Kontrol Kameraları ve Karşılaştırılması

Emre Demirkiran^{1*}

^{1*} ESİT Elektronik Sistemler İmalat ve Tic. Ltd. Şti, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6574-0371), emred@esit.com.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009203)

ATIF/REFERENCE: Demirkiran, E. (2021). Akıllı Kalite Kontrol Kameraları ve Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 627-629.

Öz

Üretimine başlanan ürünlerde üretim sırasında ve sonrasında denetimlerde tespit edilemeyen hatalar üretim hattında üreticiler için büyük kayıplara neden olarak müşteri memnuniyetinde negatif etkiler yaratmaktadır.

Bu etkiler üreticileri kalite kontrol faaliyetlerinin insan gücünden uzak yöntemler aramaya yöneltmiştir.

Endüstride üretim boyunca akıllı kameraların kullanıldığı bir kalite kontrol sistemi, herhangi bir algoritma mantığıyla üretilmiş olan ürünler için insan gücüne kıyasla kalite kontrollerini hızlı ve kusursuza en yakın değerlerde yapabilmektedir. Bu sistemler ürünlerin üretim zamanı ve maliyetini düşürerek, üretim kalitesini arttırmaktadır.

Bu çalışmada, üretim hatlarında gitgide değer kazanan kalite standartlarının yakalanmasında etkin rol oynayan yapay görme tabanlı akıllı endüstriyel kameraların faaliyetleri açıklanmış olup uygulama açısından en uygun sistemin üretime olan etkisi üzerinde durularak, akıllı kameraların kullanıldığı kalite kontrol sistemlerinin üretici firmaya kazandırdığı avantajlar belirlenerek sonuçları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı kameralar, Kalite kontrol, Yapay görme

Smart Quality Control Cameras and Comparison

Abstract

Errors that cannot be detected during and after production process cause great loss on the production line for the manufacturers and create negative effects on customer satisfaction.

These effects have led manufacturers to seek new methods of quality control activities apart from manpower.

A quality control system, in which smart cameras are used throughout the production in the industry, can perform quality controls quickly and closest to the perfect values, compared to manpower, for products produced with any algorithmic logic. These systems increase the production quality by reducing the production time and cost of the products.

In this study, the activities of artificial vision-based smart industrial cameras, which play an active role in catching quality standards that are gaining value in production lines, are explained, and the effects of the most suitable system in terms of application on production are emphasized, the advantages of quality control systems using smart cameras are determined, and the results are discussed.

Keywords: Smart Cameras, Quality Control, Machine Vision

* Emre DEMİRKİRAN: emred@esit.com.tr

1. Giriş

Müşteri memnuniyeti odaklı pazar ekonomisinde ürünlerin hatasız olarak piyasaya sürülmesi son derece önemlidir. Bunu sağlamanın en iyi ve etkili yolu da üretim aşamasında yapay görme sistemlerinden yararlanmaktır.

Yapay görme sistemlerinin kullanılması ürün üzerinde yapılan gerçek zamanlı denetimlerin hızında artış, doğruluk ve güvenilirlik açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca hatalı üretimin tespit hızı açısından insanın fazlaca üstünde anlık karar verme yetisi olan yapay görme sistemleri üretkenlik artış potansiyeli sebebiyle de oldukça cazip görünmektedir. Bu yüzden klasik üretim sistemleri yerini bilim ve teknolojinin gelişmesi ile doğru orantılı olarak büyüyen akıllı otomasyon sistemlerine bırakmaktadır.

İnsan gücünün kullanıldığı üretimde işlem sürelerinin uzun olması, konsantrasyon süresinin kısıtlı olması, hata payı olanağının fazla olması üreticileri otomasyon sistemlerine yönlendirmek zorunda bırakarak, otomasyon sistemlerinin her geçen gün değer kazanarak geliştirilmesine sebebiyet vermiştir.

Fiziksel detayların fazla olduğu ve üretim hızının da yüksek olduğu kalite kontrol uygulamalarında insan gücünün hata payı imkanı akıllı kameralardan oluşan bir denetime göre çok daha fazladır. Endüstriyel kameralar etrafında inşa edilen görüntü işleme sistemleri otomatik üretimde vazgeçilmez bir bileşendir. İmalatın tüm aşamaları boyunca, ham madde ve kusur tespiti ile kalite güvencesine kadar, yüksek verimlilik ve sıkı kalite standartlarının elde edilmesinde rol oynayan vazgeçilmez bir üretim parçasıdır.

Endüstri 4.0, yeni üretim şekilleri ve endüstriyel üretim içindeki organizasyonu ifade eder. Bunun temelini, geniş ağ ve veri iletimiyle elde etmektedir. Asıl hedefi, detaylı veri toplama ve doğru bilgi alışverişi üzerine kurulu olup daha güçlü özelleştirilmiş ve verimli bir üretim ortaya çıkartmaktır. Endüstriyel uygulama alanlarından biri olan hatalı ürünlerin üretim alanında tespit edilmesi üzerine yapılan bu araştırmada uygulanan yöntemi iki ana başlıkta inceleyebiliriz. Bunlar; kalite kontrol yapılacak uygulamadaki hatasız kabul edilen referans görüntü ve bu görüntüye kıyas yapılarak hatanın tespit edildiği referans görüntüye göre hatalı olan görüntüdür. Referans görüntü daima bellekte saklanarak diğer görüntülerle kıyaslanıp sürekli bir denetim yapılıır.

Sistemde çıkış olarak bize geri dönüş, referans görüntünün diğer görüntülerle kıyaslanması sonucunda oluşan ve hatalı üretimi görmemize olanak sağlayan görüntü bulunur. Akıllı kameralar için doğru görüntüyü almamıza sebep olacak uygun ortamın hazırlanması sonucunda alınan görüntü, oluşturulan algoritma üzerinde gerekli karşılaştırmaları tamamladıktan sonra hatalı bölgeleri belirleyip üretimin hatasız devam etmesini kolaylaştırır.

Bu çalışmada endüstriyel akıllı kalite kontrol kameraları üzerinde durularak, akıllı kameraların üretime ve üreticiye olan katkıları anlatılmış olup, sonuçları birbiriyle kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Görüntü İşleme Teknikleri

Görüntü işleme tekniklerinde genel amaç bir görüntüden elde edilen analiz sonucunda sadece ayıklanması istenilen bilgilerin değerlendirilmesidir. Görüntü işleme yazılımları endüstride kalite kontrol alanında çeşitli ölçüm, kontrol yada belirli bir otomasyon mantığında çalışan sistemlerde hızlı ve kararlı bir karar mekanizmasının oluşmasını sağlar. Yaygın olarak kullanılmakta olan görüntü işleme opsiyonları; görüntü filtreleme, örnekleme, sınıflandırma, özellik ayıklama işlemlerinden oluşur.

Bir görüntü işleme yazılımında referans olarak belirlenen doğru görüntünün, diğer analiz edilen görüntülere göre kıyaslanması sonucunda oluşan farklar üretimin hatalı olduğunun göstergesidir. Fakat bu kıyaslamaların yapılması kameralar için doğrudan olmamaktadır.

Akıllı kameralarda görüntü işleme; o anlık kıyaslama yapılacak fotoğrafın analiz edilmesi için gereksiz detayların ayrıştırılmasında yardımcı farklı filtreler kullanarak oluşur. Örneğin bir seri üretim bandındaki ürünlerin kıyaslanarak hatalı ürünlerin banttan ayrılması işlemi kamera tarafında görülen renkli görüşün gri skala sonucunda tek renge indirgenerek diğer istenilen ayrıştırmanın yapılabilmesi tek renk üzerinden devam etmelidir.

Görüntülerin kıyaslanması ile hata tespitini kamera tarafındaki referans görüntünün öğrenilmesi aşaması ve sonrasında gelen karşılaştırmalarda hep ilk öğrenimini gerçekleştirdiğimiz referans görüntüyü kullanarak denetiminin yapılması olarak iki bölümde inceleyebiliriz.

Akıllı kameralar ile yapılan kalite kontrol, endüstride farklı dallarda hakimiyetini devam ettirerek kendini geliştirmeye devam etmektedir. Örneğin cam ve seramik sektörü, ülke ekonomisi için temel endüstrilerden biridir. Türkiye cam eşya üretiminde dünyada ilk üçe girerek varlığını ispatlamıştır. Bu nedenle rekabet koşulları gereği olarak kalite kontrol, üretimde önemli bir yer almaktadır.

Akıllı kalite kontrol uygulamaları; seramik ve benzeri parlak yüzeylerde, otomotiv sektörüne yönelik parça kontrolleri ve metal yüzeylerdeki deformasyon kontrolü, paketleme ve ambalaj sektörüne yönelik barkod okuma ve ürünlerin müşteriye ulaşmadan önceki son kontrollerinin yapay görme sayesinde kontrolü gibi bir çok alanda yarar sağlayan bir teknolojidir.

2.2. Kenar Algılama

Görüntü işlemede önemli bir yere sahip konulardan biri olan kenarlar genellikle güçlü zıt yoğunluklara sahip alanlardır. Kenarlar, algoritmasını oluşturduğumuz mantık üzerinde ürünlerin tespit edilmesini kolaylaştırmakta ve sınırlarını ortaya çıkartmakta önemli bir rol oynar. Dolayısıyla elde edilen görüntünün bir çok fiziksel özelliği algılanan kenarlar sayesinde açığa çıkarılarak öğrenilebilir. Görüntüleri temel olarak renkli görüntüler ve gri seviyeli görüntüler olarak ikiye ayırabiliriz.

Bu tanımlamalara uygun olarak görüntülerdeki kenar bulma yöntemleri hangi renk uzayında çalışılacağına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Renkli görüntü yakalama sistemleri RGB (R; kırmızı, G; yeşil, B; mavi) olarak bilinen renk uzayında çalışmaktadır. Aynı parlaklıkta farklı görüntüler için kenar bulma renkli görüntülerle sağlanabilir. Buradan kıyasla gri tonlarındaki

görüntülerde tanımlanamayan ek özellikler renkli görüntülerden bulunabilir.

Elde edilen görüntülerde kenar tespitinin yapılabilmesi, ürünlerin fiziksel özelliklerinin tanınması, sınırlarının belirlenmesi açısından büyük öneme sahiptir. Kenar algılama amacıyla hazırlanan yazılımlarda elde edilen fotoğrafların ilk olarak gri tonlu hale getirilmesi daha sonra istenen ayırıştırmanın yapılması amaçlanır. Yaygın olarak kullanılan kenar tespiti algoritmaları Sobel, Prewitt, Canny ve Laplace off gauss'dur.

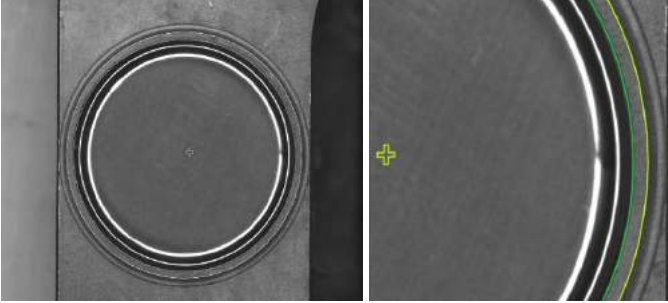
Şekil 2.2a ve Şekil 2.2b'de gösterilen resimde laser kaynak mekanizmasına bağlanan Cognex smart kamera aracılığıyla kaynak yapılacak bölgenin tespiti sağlanmaktadır.

Oluşturulan algoritmada kaynak yapılacak alandaki çemberin bulunması; referans görüntüde tanımlanan Edge'ler sayesinde gerçekleşmektedir. Kamera tanımlanan Edge noktalarına geldiğinde çemberin fiziksel özelliklerini çıkartarak konumunu kaydetmektedir. Laser kaynak makinesi konum olarak kaynak yapılacak alana geldikten sonra laser programını başlatıp programı sıradaki kaynak yapılacak parçalar için aynı mantıkta çalışmaya devam etmektedir.

2.3. Kalite Kontrol ve Hatalı Ürün Tespiti

Üretim denetiminin akıllı kameralar kullanılarak yapılması, ürünlerin fiziksel özelliklerinden faydalanılarak oluşturulan algoritmanın gerekli bölgelerinin tanınması sonucunda birbirinden kıyaslanması ile gerçekleşir.

Yapay görmede nesne tanımlaması; tıpkı insalarda olduğu gibi önceden öğrenilen bilginin sürekli karşılaştırma yapılması ile gerçekleşir. Önceden öğrenilen bilgiler sistemin bildiği bir



Şekil 2.2a

Şekil 2.2b

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Üreticilerin çalışmalarına değer katabilecek, üretimde verimliliği arttıracak bilgisayar tabanlı yapay görme sistemleri, geliştirilen çözüm faaliyetlerine entegre edilerek üretim kalitesini artırarak üretime değer katmaktadır.

Üretimde otomasyon faaliyetlerinin önemi, teknolojinin gelişmesi ile doğru orantılı olarak gelişmektedir. Ürünler arasındaki istenmeyen maddeler, deforme olmuş ürünler gibi fiziksel yönüyle sorun teşkil eden ürünler kameralara dayalı sistemlerde kolayca tespit edilebilir.

Elde edilen verilere göre üretimde yapay görme sağlayan akıllı endüstrinin, kalite problemlerinde insan gücüne kıyasla daha başarılı bir sonuç ortaya çıkardığını, hata payı değerlerinin düşük olduğunu, zaman açısından işletmeye verilen kazancın yüksek olduğu bilinmektedir.

veritabanında saklanır, yeni öğrenilen yani kıyaslanması yapılacak bilgiler ise referans bilgiler ile karşılaştırılarak nesnelere fiziksel özellikleri arasındaki farkları ortaya koyarak, daha önceden öğrenilmemiş bilgileri açığa çıkarır.

Yapay görme sistemlerinden yararlanılarak oluşturulan, ürünlerdeki hatalarının belirlenmesi ve hatalı ürünün diğerlerinden ayrıştırılması üzerine kurulan üretim prosesinde verimlilik, duyulan güven bakımından üreticilere oldukça avantaj sağlamaktadır.

Kamerallı kontrol mekanizmasındaki üretimin; denetimi yapılacak her ürünü yakından inceleme fırsatı kolaylığı ve hiçbir ürünün hatalı olarak gözardı edilmediğinin bilinmesi üreticilerde büyük rahatlık sağlamaktadır.

Kamerallı kontrol hatalı yapılan işlerin tekrarlanması yüzünden oluşan verim kaybını tamamen ortadan kaldırıp, ürün israfını azaltarak genel proses iyileştirilmesine yardımcı olur. Bu da, daha az sayıda hatalı ürün ve çalışan personelin diğer işlere odaklanması anlamına gelir. Üretime sağlanan verimlilik ve güven, tüketiciler yönünde marka imajını arttırarak yüksek kalitede ürünlere ilişkin itibarın korunmasında fayda sağlar.



Yapay görmenin temel amacı üretimde karşılaşılan operatör kaynaklı veya diğer üretim hatalarını hızlı bir şekilde tespit ederek iş gücü ve tasarrufu etkin bir şekilde ortaya koymaktır.

Sonuç olarak üretimdeki akıllı kameralar mekanizmasında kalite kontrolü sağlanan ürünler kalite standartları açısından faaliyetlerinin, başarıyla sonuçlandığı görülmüştür.

Yapay görme teknolojisine bağlı olarak geliştirilen otomasyon sistemleri uygulamalarının sayısının her geçen gün artması, toplumsal yararın artması yolunda bizlere katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- [1] Büşra.K. Kalite Kontrol Faaliyetlerinde Yapay Zeka kullanımı <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yalovasosbil/issue/27392/289024> (Erişim Tarihi: 28.12.2016)
- [2] Özcan, A. 2016. Yapay Görme Sistemlerinin Yatırım Kararlılığının Değerlendirilmesi İçin Bir Model Önerisi. Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.



Makine Öğrenmesi Algoritmalarıyla Akciğer Tomografi Görüntülerinden COVID-19 Tespiti

Özgür Kart^{1*}, Fatih Başçiftçi²

^{1*} Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7004-8419), "ozgurkart42@hotmail.com"

² Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Konya, Türkiye, (ORCID: 000-0003-1679-7416), "basçiftci@selcuk.edu.tr"

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009611)

ATIF/REFERENCE: Kart, Ö., & Başçiftçi, F. (2021). Makine Öğrenmesi Algoritmalarıyla Akciğer Tomografi Görüntülerinden COVID-19. European Journal of Science and Technology, (28), 630-637.

Öz

Koronavirüs (COVID-19), solunum yolu enfeksiyonuna neden olan ve insandan insana geçebilen bulaşıcı bir virüsdür. Bu virüs dünyada kısa sürede etkili olmuş ve bir salgına dönüşmüştür. Bu tür bulaşıcı hastalıkların erken teşhisi ve gerekli tedavinin erken süreçte başlatılması gerekmektedir. COVID-19 hastalığı tespiti için akciğer görüntülerinden ve ağız yoluyla alınan tükürük ile tespit edilmektedir. COVID-19 hastasını RT-PCR (Reverse Transcription- Polymerase Chain Reaction) ile tespit etmek için yaklaşık 4-6 saat sürmektedir. Pandeminin büyüklüğüne bakıldığında çok ta hızlı sayılmamaktadır. Aynı zamanda test kitinin de bir maliyeti bulunmaktadır. Ekonomik olarak güçlü olmayan ülkeler RT-PCR kitlerine erişmekte sorun yaşamaktadır. Pandemi döneminde zorlu süreçlerden bir tanesi her raporu manuel olarak incelemek için, birden fazla radyoloji uzmanı gerekmektedir. Bu çalışmada makine öğrenmesi algoritmaları ile farklı kategorilerdeki akciğer tomografisi görüntülerinden COVID-19 olan görüntü tespit edilmiştir. Orange Data Mining Veri analizi programında makine öğrenmesi algoritması olan K-En Yakın Komşuluk, Yapay Sinir Ağları, Rastgele Orman ve Destek Vektör algoritmaları ile Akciğer veri setinden COVID-19 hastalığına ait görüntüler sınıflandırılmış, en iyi sonucu Destek Vektör Algoritması ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka ile hastalık teşhisi, Covid-19 teşhisi, Makine öğrenmesi Algoritmaları, KNN Algoritması, SVM Algoritması, Rastgele Orman Algoritması

COVID-19 Detection from Lung Tomography Images with Machine Learning Algorithms

Abstract

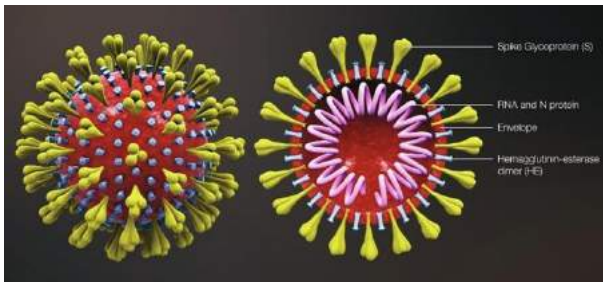
Coronavirus (COVID-19) is a contagious virus that causes respiratory tract infection and can be passed from person to person. This virus became effective in the world in a short time and turned into an epidemic. Early diagnosis of such infectious diseases and the necessary treatment should be initiated in the early period. For the detection of COVID-19 disease, it is detected by lung images and oral saliva. It takes approximately 4-6 hours to detect a COVID-19 patient by RT-PCR (Reverse Transcription- Polymerase Chain Reaction). Considering the size of the pandemic, it is not considered very fast. At the same time, the test kit has a cost. Countries that are not economically strong have problems accessing RT-PCR kits. One of the challenging processes during the pandemic period is to manually review each report, requiring multiple radiologists. In this study, the images with COVID-19 were detected from different categories of lung tomography images with machine learning algorithms. In the Orange Data Mining data analysis program, the images of the COVID-19 disease from the Lung data set were classified with the machine learning algorithm K-Nearest Neighborhood, Artificial Neural Networks, Random Forest and Support Vector algorithms, and the best result was obtained with the Support Vector Algorithm.

Keywords: Disease diagnosis with artificial intelligence, Covid-19 diagnosis, Machine learning Algorithms, KNN Algorithm, SVM Algorithm, Random Forest Algorithm

1. Giriş

Yapay zeka, insan zekasının belli bir parçasını taklit etmeye çalışan sistemlerin genel adıdır. Yapay zeka sayesinde bir çok karmaşık işlem hızlı bir şekilde çözülmektedir. Yapay zekanın gelişimi ile birlikte, bilgisayarların insan gibi düşünmesini sağlamak için yapılan çalışmalar makine öğrenimini ve uygulamalarını açığa çıkarmıştır. Makine öğrenmesi, diğer yapay zeka uygulamalarından farklı olarak, bir yandan insan zekasını taklit ederken, diğer yandan bizim yorumlayıp elle gireceğimiz kurallara ihtiyaç duymayan algoritmalar bütünüdür. Makine öğrenimin gelişmesiyle birçok hastalığın teşhisi ve tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır. Makine öğrenimi ve yapay zekanın gelişimiyle birlikte bazı yapılacak işlemleri otomatikleştirdi ve insan müdahalesini sınırlandırdı. Sağlık alanında da makine öğrenme yöntemleri ile hastalıkların tespiti yapılmaktadır. Öğrenilecek veriler de arttığı için makine öğrenimi zamanla çok akıllı ve kullanışlı hale gelmektedir. Bu veriler arttıkça, hastalıkları tespit etmek, sınıflandırmak ve bölümlere ayırmak için otomatik bir sistem uygulama şansı da oluşmaktadır. Makine öğrenimi ve yapay zeka kullanılarak sağlık alanında bir çok çalışma gerçekleştirilmektedir. COVID-19 hastalığının tespit edilmesinde bu yöntemler kullanılabilirlerdir.

COVID-19, 2019 yılı Aralık ayında Çin'in Wuhan kentinde ilk olarak görülmüş, kısa bir sürede tüm dünyaya yayılmıştır. Bu virüs salgını hızlı bir şekilde ilerlemiş, birçok ülkenin sağlık sisteminde ciddi sıkıntılar oluşturmuştur. Oluşturduğu küresel salgından dolayı pandemi olarak tanımlanmaktadır [1,2]. COVID-19, Yüksek ateş ve nefes darlığı ile tanımlanan yeni viral solunum yolu hastalığıdır. Hastalığın damlacık ve temas yoluyla bulaştığı bilinmektedir. Bulaştığı canlılarda önemli düzeyde solunum yetmezliğine sebep olmaktadır. koronavirüs enfeksiyonu belirtileri arasında ateş, öksürük, nefes darlığı ve solunum güçlüğü bulunmaktadır. Daha ağır vakalarda enfeksiyon zatürreye, akut solunum yetmezliğine, böbrek yetmezliğine ve hatta ölüme neden olabilmektedir. Özellikle bu hastalık, direnci veya bağışıklık sistemi zayıf olanlar, kronik rahatsızlıkları olanlar ve yaşlılar için çok daha tehlikeli olmaktadır [3]. Şekil 1'de Koronavirüsün şeklini temsil eden üç boyutlu tıbbi görüntü gösterilmektedir [4].



Şekil 1. Koronavirüsün şeklini temsil eden üç boyutlu tıbbi görüntü [4]

COVID-19, genellikle virüs hasta bireylerden öksürme, hapşırma yoluyla ortaya saçılan damlacıklarla ve hastaların solunum salgılarının temas ettiği yüzeylere dokunulmasından sonra ellerin göz, ağız, burun mukozası teması ile bulaşmaktadır [5]. Günümüzde COVID-19'u tespit etmek için, ters transkripsiyon-polimeraz zincir reaksiyonu (RT-PCR) en yaygın kullanılan yöntemdir. Yalnız bu testin süresi uzundur

[6]. Erken dönemlerde COVID-19'u teşhis etmek için X-ışını (Röntgen) ve Bilgisayarlı Tomografi (BT) gibi radyolojik görüntüleme yöntemleri tercih edilmektedir. Pandemi döneminde zorlu süreçlerden bir tanesi her raporu manuel olarak incelemek için, birden fazla radyoloji uzmanı gerekmektedir [7]. Koronavirüsün hızlı bir şekilde yayılması birçok ülkede ölüm oranlarını da artırmıştır. Bu sebeplerden dolayı etkili bir tedavi yönteminin geliştirilmesi, teşhis, karantina ve erken tedavinin başlatılması olmak üzere hastalığın kontrol edilmesi gerekmektedir [8]. Sağlık sistemindeki etki de uzun süre yoğun bakım ünitesine ve mekanik ventilatöre ihtiyaç duyan insan sayısı nedeniyle yüksektir [9]. Bu senaryoda, sağlık sistemindeki stresi olası bir şekilde azaltmak için doğru tedavi için erken teşhis çok önemlidir. Bu bağlamda, yapay zekâ destekli otomatik bir sistem bu sürece katkıda bulunabilmektedir [10,11,12].

2. Materyal ve Metot

2.1. Literatür Taraması

Yapay zeka teknikleri kullanılarak COVID-19 virüsü bulaşmış hastaları teşhis etmek için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Li ve arkadaşları yaptıkları makale çalışmasında, COVID-19 hastalığını tespit etmek için, göğüs BT görüntülerinden üç boyutlu bir derin öğrenme modeli tasarlamışlar. Bu Derin öğrenme modeli, COVID-19'u doğru bir şekilde tespit edebildiğini, COVID-19'u zatürre ve diğer akciğer hastalıklarından ayırdığını belirtmişlerdir [12].

Uçar ve arkadaşı, Yapay Zeka tabanlı COVIDiagnosis-Net olarak adlandırdıkları bir yapı önermişlerdir. SqueezeNet, Bayesian optimizasyon algoritmaları kullanarak, COVID-19 teşhis çalışması yapmışlar ve sonucunda 0,983 test doğruluğuna ulaşmışlardır. Önerilen model Bayes - SqueezeNet, göğüs röntgeni görüntülerini kullanarak COVID-19 tanısında, diğer modellere göre çok daha iyi performans gösterdiğini ve daha yüksek COVID-19 tanı doğruluğu elde ettiklerini belirtmişlerdir [13].

Zheng ve arkadaşları tarafından yapılan makale çalışmasında, COVID-19'u tespit etmek için 3 boyutlu BT kullanılarak derin öğrenme tabanlı evrişimli sinir ağı (DeCoVNet) önermişlerdir. Derin öğrenme algoritması kullanılarak yapılan çalışmada 0,90 doğruluk oranı ve 0,91 hassasiyet oranına ulaşmışlardır [14].

Rahimzadeh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 48260 BT tarama görüntüsünü COVID-19'u tespit etmek için kullanılmışlardır. Görüntüleri ImageNet veri kümesini kullanarak eğitmişlerdir. ResNet50V2 ile CT görüntülerini sınıflandırmışlar ve 98,49% doğruluk elde ettiklerini belirtmişlerdir [15].

Alom ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, COVID-19 hastalarını derin öğrenme yöntemleriyle tanımlamanın hızlı ve verimli bir yolunu önermişler. Hem röntgen hem de CT tarama görüntülerini kullanarak bir çalışma yapmışlar. X-ışını görüntülerinden 84,67% test doğruluğu ve CT görüntülerinden 98,78% doğruluk oranına ulaşmışlar. Yapılan çalışmada, X-ışını ve CT görüntülerinde enfekte olmuş bölgelerin yüzdesini belirlemek için yeni bir analiz stratejisi de önerilmiştir. Niteliksel ve niceliksel sonuçlar, COVID-19

tespiti ve enfekte bölge lokalizasyonu için umut verici sonuçların olduğunu belirtmişlerdir [16].

Salman ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, COVID-19 hastalığını teşhis etmek için 260 adet X-Ray görüntüsü üzerinde Evrişimli Sinir Ağı (CNN) modelini uygulamışlar ve 100%'lük bir doğruluk oranı ile COVID-19 virüsünün olup olmadığını tespit etmişlerdir[17].

Jaiswal ve arkadaşları, COVID-19 bulaşmış hastaların sınıflandırılması için yaptıkları çalışmada DenseNet201 tabanlı derin transfer öğrenmeyi kullanmışlardır. Sınıflandırma neticesinde 97% doğruluk oranı elde etmiş ve hastaları pozitif ve negatif olarak ayırmıştır [18].

Butt ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, BT göğüs taramalarından elde edilen veri setler ile çok hızlı ve güvenilir şekilde COVID-19'u tespit etmişlerdir. Derin öğrenme metodu kullanılarak yapılan bu çalışma, RT-PCR testinden daha yüksek bir tespit oranına ulaşmışlar. CNN ile yapılan çalışmada 98,2% duyarlılık ve 92,2% özgüllük elde ettiklerini belirtmişlerdir [19].

Wang ve arkadaşları, COVID-19 hastalığının seyri, hastanın tedaviye nasıl cevap vereceğini tahmin etmek için, BT görüntüsünü kullanarak tam otomatik Derin öğrenme sistemi (DL) önermişler. DL sisteminin, COVID-19'un salgın kontrolünde çok fazla maliyet eklemeyen yardımcı olabileceğini, COVID-19'u tanımlamada iyi performans elde ettiklerini belirtmişlerdir [20].

Pathak ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, CT görüntülerinden derin transfer öğrenmeye dayalı COVID-19 tespiti yapılmıştır. Bu model ile 96,22% eğitim doğruluğu ve 93,01%'a test doğruluğu sonucunu aldıklarını belirtmişlerdir [21].

Song ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, COVID-19 hastalarını belirlemek için derin öğrenmeye dayalı bir BT tanı sistemi geliştirmişlerdir. DRE-Net adını verdikleri modelde COVID-19 hastalarını bakteri pnömonisi hastalarından doğru bir şekilde ayırt edebileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada COVID-19 hastalarını diğerlerinden ayırarak 0.86 doğruluk oranı ve 0.79 hassasiyet oranına ulaşmışlardır [22].

Özyurt ve arkadaşları, Bilgisayarla görme yöntemleri yaygın olarak kullanıldığını belirtmişler. Bu çalışmada, CT görüntülerini kullanarak bir model önermişlerdir. Önerilen modelde Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Derin Sinir Ağı (DNN) kullanılmıştır. YSA ve DNN modelleri sırasıyla 94,10% ve 95,84% sınıflandırma doğruluğuna ulaşmışlardır. Yapılan çalışma ile evrişimli sinir ağlarından (CNN) daha yüksek bir sınıflandırma doğruluğu elde ettiklerini belirtmişlerdir [23].

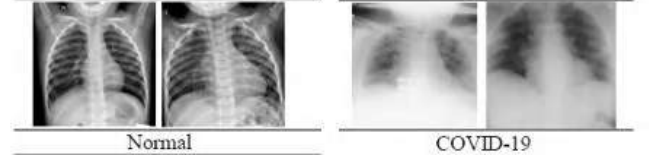
Apostolopoulos ve arkadaşları, Yedi sınıfa ait 3905 adet X-Ray görüntüsünü kullanarak derin öğrenme yöntemlerinden CNN ile COVID-19 hastalığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, derin öğrenme modelinin iyi bir performans gösterdiğini, hastalığın teşhisinde 99,18% doğruluk, 97,36% hassasiyet ve 99,42% özgüllük oranı elde ettiklerini belirtmişlerdir [24].

Serte ve arkadaşı COVID-19 ve normal CT hacimlerini sınıflandırmak için bir yapay zeka modeli önermektedir. Önerilen Yapay Zeka modelinde ResNet-50'yi kullanmışlardır. CT tarama görüntülerinden COVID-19'u tahmin etmek için derin öğrenme modeli ile birlikte birleştirme teknikleriyle karşılaştırmışlardır. Resnet-50 modelinin diğer tüm

modellerden ve birleştirme tekniklerinden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [25].

2.2. Veri Seti ve Verilerin Hazırlanması

COVID19 hastalığının tespiti için açık kaynaklı bir platform olan "https://www.kaggle.com/" web adresinden güncel ve gerçek verisetleri içinden normal ve COVID-19 X-Ray görüntüleri alınacaktır. Şekil 2'de Normal ve COVID-19 örnek akciğer tomografisi görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Akciğer tomografisi görüntüleri

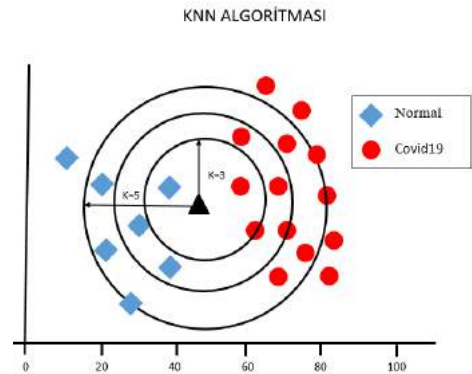
COVID-19'un tespiti için 1500 adet Posteroanterior Chest X-ray (PA-CXR) görüntüsü kullanılmıştır. Bu veri seti içerisinde, 750 adet COVID-19 (enfekte olmuş) ve 750 adet normal veri kullanılmıştır. Tablo 1.'de kullanılacak veri setiyle ilgili sayılar gösterilmektedir.

Tablo 1. Kategoriler ve veri sayıları

Sıra No	Kategori Adı	Eğitim (80%)	Test (20%)	Toplam
1	Normal	600	150	750
2	COVID19	600	150	750
Toplam		1200	300	1500

2.3. K-En Yakın Komşu (KNN) Algoritması

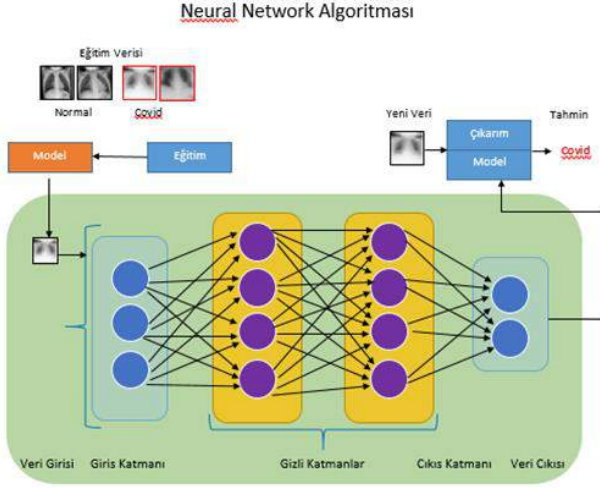
KNN algoritması ya da diğer adıyla K-En yakın komşu algoritması makine öğrenim algoritmaları içerisinde en çok kullanılan algoritmalarından biridir. Sınıfı bilinmeyen veri, eğitim setindeki diğer veriler ile karşılaştırılır ve bir uzaklık ölçümü yapılır. KNN, komşular arasındaki uzaklıkları hesaplar, en yakın komşuları bularak verileri sınıflara göre sınıflandırır [26]. Şekil 3.'de Knn algoritması tasarımı görünmektedir.



Şekil 3. KNN Algoritması Uygulaması

2.4. Neural Network Algoritması

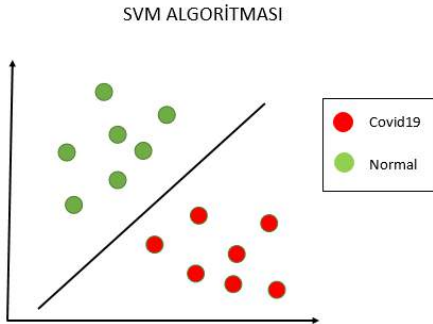
Sinir ağları, kümelenebilir ve sınıflandırmaya yardımcı olur. Bunları, sakladığınız ve yönettiğiniz verilerin üzerinde bir kümeleme ve sınıflandırma katmanı olarak düşünebilirsiniz. Etiketlenmemiş verileri örnek girdiler arasındaki benzerliklere göre gruplamaya yardımcı olurlar ve üzerinde eğitim alabilecekleri etiketli bir veri kümesine sahip olduklarında verileri sınıflandırır [27]. Şekil 4.'de Neural Network algoritması tasarımı görülmektedir.



Şekil 4. Neural Network Algoritması Tasarımı

2.5. Destek Vektör Makineleri (SVM) Algoritması

Sınıflandırma veya regresyon problemleri için kullanılabilen denetimli bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bununla birlikte, çoğunlukla sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadır [28]. Bu algoritmada, her bir veri maddesini belirli bir koordinatın değeri olan her özelliğin değeri ile birlikte n-boyutlu boşluğa bir nokta olarak çizilir. Ardından, iki sınıftan oldukça iyi ayırım yapan hiper-düzlemi bularak sınıflandırma gerçekleştirilir. Şekil 5.'de SVM algoritması tasarımı görülmektedir.



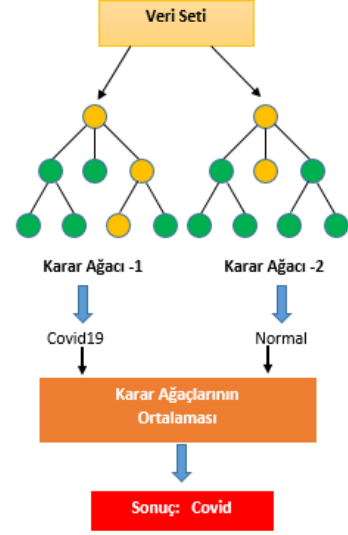
Şekil 5. SVM Algoritması Tasarımı

2.6. Random Forest Algoritması

Sınıflandırma işlemi sırasında birden fazla karar ağacı üretmek sınıflandırma oranını yükselten algoritmadır. Karar ağaçlarının birleşiminden oluşan bir algoritma olup, kullanılan karar ağaçları arasında doğruluğu ve bağımsızlığı en yüksek ağaçlar tercih edilmektedir. Ağaçların her birisi veri setindeki özelliklere göre dallanmaktadır. Tek bir düğüm ile başlar ve

yeni sonuçlara dallanarak bir ağaç yapısı oluşturulur. Algoritma çalıştığında girilen değer düğümlere bakılarak belli bir yolda ilerler ve bir sonuç verir [29]. Şekil 6.'da Random Forest Algoritması tasarımı gösterilmektedir.

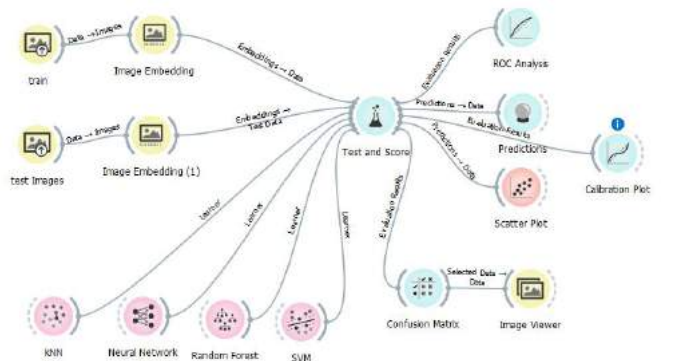
Random Forest Algoritması



Şekil 6. Random Forest Algoritması Tasarımı

2.7. Çalışmanın Veri Analiz Programında Tasarımı

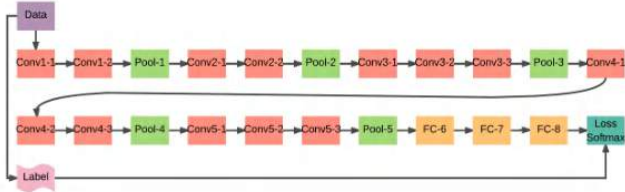
COVID-19 ve normal akciğer görüntüleri ile modelin eğitilmesi sağlanmıştır. Bundan dolayı modele ait girdilerin değerleri tanımlanması yapılmıştır. Şekil 7.'de Çalışmanın COVID-19 teşhisi için Orange veri analiz ekranı verilmektedir. Train ve test olmak üzere iki bölümden görüntüler işlenmek üzere Embedding kısmına gelmektedir. Visual Geometry Group (VGG-16) ağ modeli ile işlendikten sonra seçilen 4 adet algoritma ile modeller oluşturulmaktadır. Bu modeller ile test ve score kısmında başarı değerleri tablolar ile verilmektedir. Test ve Score'dan sonraki kısımda ise test verilerinin algoritmalara göre görselleştirilmesi yapılmıştır. Bunlar her algoritmaya ait yüzdelik doğruluk değerleri, çıkış katmanına göre doğruluk, hassasiyet, duyarlılık vb. değerleri verilmiştir.



Şekil 7. Çalışmanın Orange Veri analizi programında tasarımı

VGG16 modeli Oxford Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. VGG16, tamamen bağlı ağı eğiten yaklaşık 138

milyon parametreye sahip büyük ölçekli görüntü tanıma modelidir [30]. Bu modelde görüntüdeki düşük ve yüksek seviyeli özellikleri çıkarmak için resme bazı filtreler uygulamaktadır. VGG16 içerisinde 13 konvolüsyon katman, 3 tam bağlı katman ile birlikte 2x2 boyutlu 5 adet havuzlama katmanı bulunmaktadır. Son katmanda ise softmax bulunmaktadır, bu katmanda gelen giriş verisi sınıflandırılmaktadır [31]. Şekil 8.'de VGG16 mimarisinin görünümü verilmiştir [32].



Şekil 8. VGG16 mimarisi [18].

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Deneysel Sonuçlar

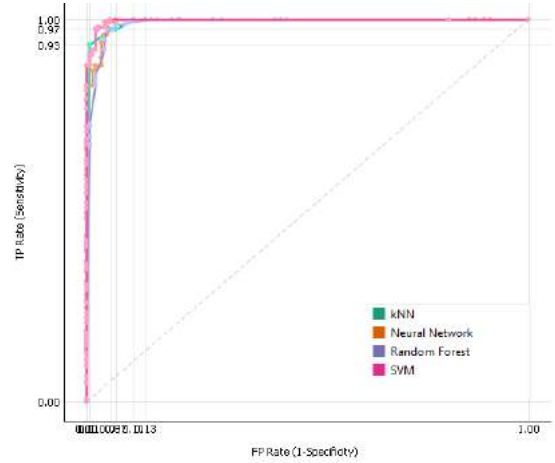
Bu bölümde, normal ve COVID-19 X-Ray görüntülerine ait eğitim ve test işlemi yapılmıştır. KNN, SVM, Random Forest ve Neural Network makine öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. 80% eğitim ve 20% test verisi olmak üzere veri seti iki gruba ayrılmıştır. Algoritmalarla göre test başarımları ve doğruluk oranı Tablo 2.'te görülmektedir. En yüksek test başarımları 99,8%'lük bir oranla SVM algoritmasından elde edilmiştir.

Tablo 2. Algoritmalarından elde edilen sonuçlar

Model	Test	Duyarlılık	F1	Hassasiyet	Doğruluk
KNN	99,3%	95,3%	95,3%	95,4%	95,3%
SVM	99,8%	96,6%	96,6%	96,9%	96,7%
Random	98,9%	95%	94,9%	95,2%	95,0%
Neural Network	99,4%	96,3%	96,3%	96,5%	96,3%

3.2. Algoritmaların Performans Grafiği

Makine öğrenmesinde performans ölçümü, sınıflandırma probleminin performansının değerlendirilmesinde AUC(Area Under Curve) - ROC (Receiver Operating Characteristic Curve) eğrisinden yararlanılmaktadır. Herhangi bir sınıflandırma modelinin performansını kontrol etmek için en önemli değerlendirme ölçütlerinden biridir [33]. ROC bir olasılık eğrisidir ve AUC derece veya ölçüyü temsil etmektedir. Modelin sınıflar arasında ne kadar ayırım yapabildiğini belirtmektedir. AUC ne kadar yüksekse, model hastalığı olan hastaları ayırt etmede o derecede başarılıdır [34]. Şekil 9'da uygulanan 4 model ile ilgili grafik verilmiştir. Yapılan çalışmada, en iyi oranı SVM algoritmasından elde edilmiştir.



Şekil 9. ROC-AUC Eğrisi

3.3. Tartışma

Bu bölümde kullanılan makine öğrenme algoritmalarından elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Makine öğrenmesinde kullanılan sınıflandırma modellerinin performansını değerlendirmek için karmaşıklık matrisi (Confusion Matrix) kullanılmaktadır. Hedef niteliğe ait tahminlerin ve gerçek değerlerin karşılaştırıldığı karmaşıklık matrisi sıklıkla kullanılmaktadır [35].

3.3.1. KNN Algoritması modelinden elde edilen sonuçlar

KNN modelinden test için kullanılan 300 adet normal ve covid X-Ray görüntülerinden 99,3% test başarımları oranı, 95,3% duyarlılık oranı 95,3% F1 oranına karşılık geldi. 95,4% hassasiyet oranı ve 95,3% doğruluk oranı elde edilmiştir. Tablo 3.'de KNN Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları gösterilmektedir. Gerçek Covid X-Ray görüntülerini 93,6% ve gerçek normal X-Ray görüntülerini 97,2% oranında doğru tahmin etmiştir. KNN Algoritması ile yapılan çalışmada ortalama 95,3% tahmin oranı elde edilmiştir. Tablo 4.'de KNN Algoritmasının test sayıları Confusion Matrix tablosunda gösterilmiştir. Buna göre 150 adet gerçek Covid X-Ray görüntülerini 146 tanesini ve 150 adet gerçek normal X-Ray görüntülerinin 140 tanesini doğru tahmin etmiştir. İki kategori toplamında ortalama 143 tanesini doğru tahmin etmiştir.

Tablo 3. KNN Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
		Covid	Normal	
Covid		93,6%	2,8%	150
Normal		6,4%	97,2%	150
Σ		156	144	300

Tablo 4. KNN Algoritması Test Sayılarının Confusion Matrix Tablosu

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
		Covid	Normal	
Covid		146	4	150
Normal		10	140	150
Σ		156	144	300

3.3.2. SVM Algoritması modelinden elde edilen sonuçlar

1500 adet X-Ray görüntüsü içerisinde 1200 adet eğitim verisi, 300 adet test verisi olarak belirlenmiştir. SVM algoritması ile yapılan testte X-Ray görüntülerinden 99,8% test başarımları ile 4 algoritma içerisinde en yüksek oranı elde etmiştir. 96,6% duyarlılık oranı 96,6% F1 oranına karşılık geldi. 96,9% hassasiyet oranı ve 96,7% doğruluk oranı elde etmiştir. Tablo 5.'de SVM Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları gösterilmektedir. Gerçek Covid X-Ray görüntülerini 93,8% ve gerçek normal X-Ray görüntülerini 100% oranında doğru tahmin etmiştir. SVM Algoritması ile yapılan çalışmada ortalama 96,9% tahmin oranı elde edilmiştir. Tablo 6.'da SVM Algoritmasının test sayıları Confusion Matrix tablosunda gösterilmiştir. Buna göre 150 adet gerçek Covid X-Ray görüntülerini 150 tanesini ve 150 adet gerçek normal X-Ray görüntülerinin 140 tanesini doğru tahmin etmiştir. İki kategori toplamında ortalama 145 tanesini doğru tahmin etmiştir.

Tablo 5. SVM Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
		Covid	Normal	
Covid		93,8%	0%	150
Normal		6,2%	100%	150
Σ		160	140	300

Tablo 6. SVM Algoritmasının Test Sayılarının Confusion Matrix Tablosu

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
		Covid	Normal	
Covid		150	0	150
Normal		10	140	150
Σ		160	140	300

3.3.3. Random Forest Algoritması modelinden elde edilen sonuçlar

300 adet test için kullanılan Normal ve COVID-19 X-Ray görüntülerinden 98,9% test başarımları, 95% duyarlılık oranı 94,9% F1 oranına karşılık geldi. 95,2% hassasiyet oranı ve 95% doğruluk oranı elde etmiştir. Tablo 7.'de Random Forest Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları gösterilmektedir. Gerçek Covid X-Ray görüntülerini 91,2% ve gerçek normal X-Ray görüntülerini 96,5% oranında doğru tahmin etmiştir. Random Forest Algoritması ile yapılan çalışmada ortalama

93,85% tahmin oranı elde edilmiştir. Tablo 8.'de Random Forest Algoritmasının test sayıları Confusion Matrix tablosunda gösterilmiştir. Buna göre 150 adet gerçek Covid X-Ray görüntülerini 145 tanesini ve 150 adet gerçek normal X-Ray görüntülerinin 136 tanesini doğru tahmin etmiştir. İki kategori toplamında ortalama 141 tanesini doğru tahmin etmiştir.

Tablo 7. Random Forest Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
		Covid	Normal	
Covid		91,2%	3,5%	150
Normal		8,8%	96,5%	150
Σ		159	141	300

Tablo 8. Random Forest Algoritması Test Sayılarının Confusion Matrix Tablosu

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
		Covid	Normal	
Covid		145	5	150
Normal		14	136	150
Σ		159	139	300

3.3.4. Neural Network Algoritması modelinden elde edilen sonuçlar

300 adet güncel ve gerçek X-Ray görüntülerinden 99,4% test başarımları, 96,3% duyarlılık oranı %96,3 F1 oranına karşılık geldi. 96,5% hassasiyet oranı ve 96,3% doğruluk oranı elde etmiştir. Tablo 9.'da Neural Network Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları gösterilmektedir. Gerçek Covid X-Ray görüntülerini 93,7% ve gerçek normal X-Ray görüntülerini 99,2% oranında doğru tahmin etmiştir. Neural Network Algoritması ile yapılan çalışmada ortalama 96,5% tahmin oranı elde edilmiştir. Tablo 10.'da Neural Network Algoritmasının test sayıları Confusion Matrix tablosunda gösterilmiştir. Buna göre 150 adet gerçek Covid X-Ray görüntülerini 149 tanesini ve 150 adet gerçek normal X-Ray görüntülerinin 140 tanesini doğru tahmin etmiştir. İki kategori toplamında ortalama 145 tanesini doğru tahmin etmiştir.

Tablo 9. Neural Network Algoritmasının Confusion Matrix sonuçları

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
		Covid	Normal	
Covid		93,7%	0,7%	150
Normal		6,3%	99,3%	150
Σ		159	141	300

Tablo 10. Neural Network Test Sayılarının Confusion Matrix Tablosu

Gerçek Veriler	Tahmin Edilen Veriler			Σ
	Covid	Normal	Σ	
Covid	149	1	150	
Normal	10	140	150	
Σ	159	141	300	

4. Sonuç

COVID-19 tüm dünyaya hızla bir şekilde yayılmış ve bulaştığı insanlar üzerinde ciddi sıkıntılar oluşturmuştur. COVID-19'un erken evrelerde tespit edilmesi, zamanında hızlı ve doğru müdahalenin yapılması, salgının hem yayılımını azaltacak hem de oluşabilecek sağlık sorunlarını en aza indirebilecektir. Son yıllarda makine öğrenmesi birçok alanda kullanılmaktadır. Makine öğrenmesinin, hastalıkların erken teşhisinde kullanılabilme potansiyeli de bulunmaktadır. Bu çalışmada Makine öğrenmesi teknikleriyle "https://www.kaggle.com/" web adresinden alınan güncel ve gerçek veriler (X-Ray görüntüleri) kullanılarak COVID-19'u tespiti yapılmıştır. Yapılan uygulamada, 4 farklı makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Yapılan çalışmada En yüksek 99,8% test başarı oranı, 96,9% hassasiyet oranı, 96,9% duyarlılık oranı ve 96,7% doğruluk oranı ile SVM algoritması ile elde edilmiştir. Sonuç olarak, yapılan çalışmada, yüksek oranda doğru tahmin elde edilmiştir. Makine öğrenme algoritmalarının sağlık alanında verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Kaynakça

- [1] Sohrabi, C., Alsafi, Z., O'Neill, N., Khan, M., Kerwan, A., Al-Jabir, A., ... & Agha, R. (2020). World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International journal of surgery*, 76, 71-76.
- [2] Knight, T. E. (2020). Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 and coronavirus disease 2019: a clinical overview and primer. *Biopreservation and Biobanking*, 18(6), 492-502.
- [3] Lai, C.-C., Shih, T.-P., Ko, W.-C., Tang, H.-J., & Hsueh, P.-R. (2020). Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): The epidemic and the challenges. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55(3), 105924. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105924>
- [4] Wikimedia Commons, 3D medical animation corona virus.jpg, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_medical_animation_corona_virus.jpg, [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2021].
- [5] Toğaçar, M., Ergen, B., & Cölmert, Z., (2020), COVID-19 detection using deep learning models to exploit Social Mimic Optimization and structured chest X-ray images using fuzzy color and stacking approaches". *Computers in Biology and Medicine*, 1-12, 2020.
- [6] Franquet, T. (2011). Imaging of pulmonary viral pneumonia. *Radiology*, 260(1), 18-39.
- [7] Öztürk, T., Talo, M., Yıldırım, E. A., Baloğlu, U. B., Yıldırım, Ö., & Acharya, U. Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images, *Computers in Biology and Medicine*, 1-11, 2020.
- [8] Tolksdorf, K., Buda, S., Schuler, E., Wieler, L. H., ve Haas, W., 2020, Influenza-associated pneumonia as reference to assess seriousness of coronavirus disease (COVID-19). *Euro Surveill*, 25(11). doi:10.2807/1560-7917.ES.2020.25.11.2000258
- [9] Grasselli, G., Pesenti, A., & Cecconi, M. (2020). Critical care utilization for the COVID-19 outbreak in Lombardy, Italy: early experience and forecast during an emergency response. *Jama*, 323(16), 1545-1546.
- [10] Mei, X., Lee, H. C., Diao, K. Y., Huang, M., Lin, B., Liu, C., Xie, Z., Ma, Y., Robson, P. M., Chung, M., Bernheim, A., Mani, V., Calcagno, C., Li, K., Li, S., Shan, H., Lv, J., Zhao, T., Xia, J., Long, Q., ... Yang, Y., 2020, Artificial intelligence-enabled rapid diagnosis of patients with COVID-19, *Nature medicine*, 26(8), 1224-1228. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0931-3>
- [11] Gozes, O., & Siegel, E. (2020). Rapid AI development cycle for coronavirus, pandemic: Initial results for automated detection & patient monitoring, using deep learning CT image analysis. *arXiv preprint arXiv:2003.05037*.
- [12] Li, L., Qin, L., Xu, Z., Yin, Y., Wang, X., Kong, B., ... & Xia, J. (2020). Artificial intelligence distinguishes COVID-19 from community acquired pneumonia on chest CT. *Radiology*.
- [13] Ucar F., Korkmaz D., 2020, COVIDiagnosis-Net: Deep Bayes-SqueezeNet based diagnosis of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) from X-ray images, *Medical Hypotheses*, 2020 Jul;140:109761. DOI: 10.1016/j.mehy.2020.109761.
- [14] Zheng, C., Deng, X., Fu, Q., Zhou, Q., Feng, J., Ma, H., Liu, W., ve Wang, X., 2020, Deep Learning-based Detection for COVID-19 from Chest CT using Weak Label, *MedRxiv*, 2020.03.12.20027185. <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.20027185>
- [15] Rahimzadeh, M., Attar, A., 2020, A modified deep convolutional neural network for detecting COVID-19 and pneumonia from chest X-ray images based on the concatenation of Xception and ResNet50 V2, *Informatics in Medicine Unlocked* 19, 100360, <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100360>
- [16] Alom, M. Z., Rahman, M. M., Nasrin, M. S., Taha, T. M., & Asari, V. K., 2020, COVID_MTNNet: COVID-19 detection with multi-task deep learning approaches. *arXiv preprint arXiv:2004.03747*.
- [17] Salman, F. M., Abu-Naser, S. S., Alajrami, E., Abu-Nasser, B. S., ve Alashqar, B. A., 2020, Covid-19 detection using artificial intelligence.
- [18] Jaiswal, A., Gianchandani, N., Singh, D., Kumar, V., ve Kaur, M., 2020, Classification of the COVID-19 infected patients using DenseNet201 based deep transfer learning. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 1-8.

- [19] Butt, C., Gill, J., Chun, D., Babu, B. A., 2020, Deep learning system to screen coronavirus disease 2019 pneumonia, *Applied Intelligence*, 1–7, Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01714->
- [20] Wang, S., Zha, Y., Li, W., Wu, Q., Li, X., Niu, M., . . . Yu, H., 2020, A fully automatic deep learning system for COVID-19 diagnostic and prognostic analysis. *European Respiratory Journal*, 56(2).
- [21] Pathak, Y., Shukla, P. K., Tiwari, A., Stalin, S., ve Singh, S., 2020, Deep transfer learning based classification model for COVID-19 disease. *Irbm*.
- [22] Song, Y., Zheng, S., Li, L., Zhang, X., Zhang, Xiaodong., Huang, Z., Chen, J., Wang, R., Zhao, H., Zha, Y., Shen, J., Chong, Y., ve Yang, Y., 2021, “Deep learning Enables Accurate Diagnosis of Novel Coronavirus (COVID-19) with CT images”. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics* 1-1. doi: 10.1109/TCBB.2021.3065361.
- [23] Ozyurt, F., Tuncer, T., ve Subasi, A., 2021, An Automated COVID-19 Detection Based on Fused Dynamic Exemplar Pyramid Feature Extraction and Hybrid Feature Selection Using Deep Learning, *Computers in Biology and Medicine* 132:104356. doi: 10.1016/j.combiomed.2021.104356.
- [24] Apostolopoulos, I. D., Aznaouridis, S. I., ve Tzani, M. A., 2020, Extracting possibly representative COVID-19 biomarkers from X-Ray images with deep learning approach and image data related to pulmonary diseases. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 40, 462-469.
- [25] Serte, S., ve Demirel, H., 2021, Deep learning for diagnosis of COVID-19 using 3D CT scans. *Computers in biology and medicine*, 132, 104306.
- [26] Kılınc, D., Borandağ, E., Yücalar, F., Tunali, V., Şimşek, M., ve Özçift, A., 2016, KNN Algoritması ve R Dili ile Metin Madenciliği Kullanılarak Bilimsel Makale Tasnifi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 28(3). doi:10.7240/mufbed.69674
- [27] Nicholson, C., 2020, A Beginner's Guide to Neural Networks and Deep Learning. Retrieved from, <https://wiki.pathmind.com/neural-network>
- [28] Hsu, C. W., Chang, C. C., ve Lin, C. J., 2010, A Practical Guide to Support Vector Classification.
- [29] Hatipoğlu, E., 2018, Machine Learning — Prediction Algorithms — Decision Tree — Random Forest — Part 5. Retrieved from <https://medium.com/@ekrem.hatipoglu/machine-learning-prediction-algorithms-decision-tree-random-forest-part-5-2970905c021e>
- [30] Zeiler, M. D., & Fergus, R., 2014, September, Visualizing and understanding convolutional networks. In *European conference on computer vision* (pp. 818-833). Springer, Cham.
- [31] Ullah, I., Hussain, M., Qazi, E.-H., Aboalsamh, H., 2018, An automated system for epilepsy detection using EEG brain signals based on deep learning approach, *Expert Syst. Appl.* 107, 61–71.
- [32] Qassim, H., Verma, A., & Feinzimer, D., 2018, Compressed residual-VGG16 CNN model for big data places image recognition. In *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 169-175). IEEE.
- [33] Taş, B., 2019, Roc Eğrisi ve Eğri Altında Kalan Alan (Auc), <https://bernatas.medium.com/roc-e%C4%9Frisi-ve-e%C4%9Fri-alt%C4%B1nda-kalan-alan-auc-97b058e8e0cf>
- [34] Narkhede, S., 2018, Understanding auc-roc curve. *Towards Data Science*, 26, 220-227.
- [35] Brownlee, J., 2020, What is a Confusion Matrix in Machine Learning, <https://machinelearningmastery.com/confusion-matrix-machine-learning/>



Solution of Water Distribution Networks Design with Evolutionary Optimization Techniques

Büşra Seval Doğan^{1*}, Tahir Sağ²

^{1*} Selçuk University, Institute of Science, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5969-2860), doganbusraseval@gmail.com

² Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8266-7148), tahirsag@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009768)

ATIF/REFERENCE: Doğan, B.S. & Sağ, T. (2021). Solution of Water Distribution Networks Design with Evolutionary Optimization Techniques. *European Journal of Science and Technology*, (28), 638-642.

Abstract

Due to its vital importance, water is known as one of the sources of both civilization and social development. All civilizations have established their settlements near water sources. However, since the work of taking water from its source and transmitting it to the users in the settlements, that is, the establishment of water networks, is a costly process, it has been one of the most important Engineering problems from the past to the present. In this study, a comprehensive literature review on evolutionary optimization algorithms used in solving water distribution network designs is presented. First, the explanation of the design problem, the decision variables, and its mathematical definition are emphasized. Then, the studies on the subject so far are examined chronologically. Finally, the results obtained from the findings are interpreted and the advantages and disadvantages of the methods put forward for the solution of the problem are revealed. In addition, determinations are made for future studies.

Keywords: Water distribution networks, evolutionary optimization, metaheuristics, combinatorial optimization, WDN benchmarks.

Su Dağıtım Şebekeleri Tasarımının Evrimsel Optimizasyon Teknikleriyle Çözümü

Öz

Yaşamsal önemi nedeniyle su, hem uygarlığın hem de toplumsal gelişmenin kaynaklarından biri olarak bilinmektedir. Bütün medeniyetler yerleşimlerini su kaynaklarının yakınına kurmuşlardır. Ancak yerleşim yerlerinde suyun kaynağından alınarak kullanıcılara iletilmesi, yani su şebekelerinin kurulması işi maliyetli bir süreç olduğundan, geçmişten günümüze en önemli mühendislik problemlerinden biri olmuştur. Bu çalışmada, su dağıtım şebekesi tasarımlarının çözümünde kullanılan evrimsel optimizasyon algoritmaları hakkında kapsamlı bir literatür taraması sunulmaktadır. İlk olarak tasarım probleminin açıklanması, karar değişkenleri ve matematiksel tanımı üzerinde durulmuştur. Daha sonra konuyla ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar kronolojik olarak incelenmiştir. Son olarak, bulgulardan elde edilen sonuçlar yorumlanarak problemin çözümü için ileri sürülen yöntemlerin avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Ayrıca ileride yapılacak çalışmalar için tespitler yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Su dağıtım şebekeleri, evrimsel optimizasyon, meta-sezgisel, kombinatorial optimizasyon, WDN kıyaslamaları.

* Corresponding Author: doganbusraseval@gmail.com

1. Introduction

Water Distribution Networks (WDNs), which ensure that water is taken from the source and transmitted to the settlements, is an important design problem, especially in the field of civil engineering, from the past to the present. Because, in addition to the high cost of establishing WDNs, some constraints that should be followed in water distribution networks make it difficult to design networks. Some of these constraints can be listed in three items: (i) the multiplicity of non-linear expressions used in the calculation of pipe diameters, (ii) the necessity to keep the velocity and pressure values in the network within certain ranges, and (iii) the wide selection range seen in the types and diameters of the pipes produced.

These justifications require cost optimization for designing a new WDN or expanding an existing WDN. In this regard, many studies have been carried out on the cost optimization of WDNs since the 1960s. Although linear [1,2,3] and nonlinear [4] programming methods were used in this field in the early days, metaheuristic optimization methods started to be used because they were insufficient over time. It has been seen that researchers have been able to reach the global optimum result by making fewer evaluations in the search space with metaheuristic optimization methods compared to traditional methods.

Examining the related works in the literature, the same test networks called Benchmark WDN problems have been used in almost all of them. These studies focus only on cost optimization of the network and the problem addressed is designed as a single-objective optimization problem. Many single-objective metaheuristic optimization algorithms were adapted to the problem and used to find the desired cost value. Considering the results of these studies, it can be concluded that the optimum cost values obtained by single-objective metaheuristics are quite close to each other, and method changes should be made in order to obtain better results.

The rest of the paper is organized as follows. In the concept of material and method, section II describes the features of WDNs, the mathematical definition of the design problem, and benchmark networks used in literature. Then, evolutionary optimization algorithms are briefly explained in section III. The related works on WDNs are given in section IV. Finally, concluding remarks and possible future works are provided in Section IV.

2. Material and Method

2.1. Design Features of WDNs

For a WDN system to be economical and close to the ideal system, it must have the following features [5].

- ✓ Consisting of independent pressure zones of the network according to the recommended maximum and minimum pressure limits,
- ✓ Providing the lowest pressure specified in the specifications to the users at every point of the system,
- ✓ Providing as regular pressure as possible for a pressure zone and pressure variations not more than $\pm 20\%$,
- ✓ Providing water flow from different directions by arranging the network as closed eyes,
- ✓ Establishing connections that can be used between regions for emergencies,

- ✓ Preferring materials and joining elements that will prevent corrosion and crusting,
- ✓ Designing the relevant network in a way that will enable the detection of leaks that may occur in the network,
- ✓ Availability of sufficient number of valves and evacuation equipment for easy operation of the business,
- ✓ The low number of network elements that require frequent maintenance, especially underground.
- ✓ Designing all elements in the network (pipe, connection equipment, etc.) to be resistant to the maximum pressures recommended in the regulation.

2.1.1. Calculation Features of WDNs

First, the method by which the hydraulic calculations in the networks will be made is determined. The most used methods are Hardy-Cross and the dead spots method. Network hydraulic calculations are made using the Dead Spots Method in Turkey. According to this method, it is thought that water comes from two branches in a network system and that these incoming waters are distributed to the users and end at one point. This point is called the dead point. The dead point, which is thought of as an imaginary point, does not actually exist. In this method, the sum of the load losses of the currents coming from the two branches should be equal. With this method, the network consisting of closed eyes is transformed into a branch system and hydraulic calculations are made easier. In the Hardy Cross method, the water to be distributed to the users is distributed from the node points, unlike the dead points method. In the Hardy-Cross method, the total flow rate entering the network and the total flow output should be equal.

The types of WDNs are depicted in Fig. 1, which are consist of branch system, branch-shaped network system, and closed network system.

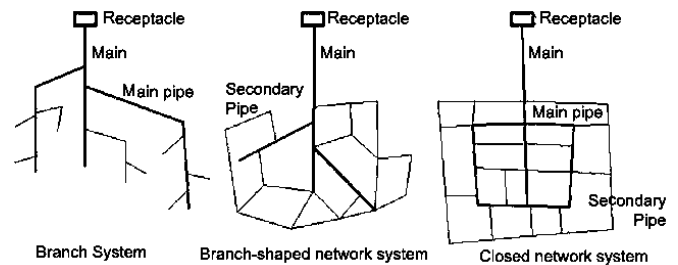


Fig. 1. Types of WDNs [25]

2.2. Optimum Design of WDNs

The objective function used to minimize the pipe diameter cost is as in Eq (1).

$$Z = \sum_{i=1}^M C(D_i) - L_i + \delta \tag{1}$$

where Z is the objective function, M is the number of pipes, D_i is the diameter of i th pipe, L_i is the length of i th pipe, and δ represents the total penalty cost calculated for any solution. The δ value consists of three parts (pressure P , speed V , energy constraint ϵ) as shown in Eq (2).

$$\delta = \left[\sum_{i=1}^N H(P_{min} - P_i) \right] \epsilon_p(P_{min} - P_i) + \left[\sum_{i=1}^M nV_i \right] \epsilon_r + \left[\sum_{a=1}^K \gamma_a \cdot \epsilon_y \right] \tag{2}$$

If the speed limit exceeds the limit values, the values of the penalty function are shown in Eq (3).

$$\eta(V_i) = \begin{cases} 0 & V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \\ \mu/V_i & V_i < V_{min} \\ \mu.V_i & V_i > V_{max} \end{cases} \quad (3)$$

The steps to implement the objective function of a general network problem are as follows:

- ✓ Calculation of unit pipe cost values according to pipe diameters
- ✓ Obtaining the total pipe cost of the system
- ✓ Making hydraulic calculations of the system and obtaining pressure values
- ✓ Calculation of penalty cost value for pressure
- ✓ Calculation of penalty cost for energy constraint
- ✓ Calculation of the total cost value.

2.3. Test Networks used in Literature

Test networks, which are called benchmark networks in the literature, are frequently used by researchers. The most well-known examples of these are the Alperovits and Shamir grid, the Hanoi city networks, and the New York grid.

Alperovits and Shamir Network: This network is an imaginary network of 8 pipes created by Alperovits and Shamir [1] to optimize cost. Later, this imaginary network became a test network and was used by many researchers. It consists of 1 water reservoir, 6 nodes, and 8 pipes. Each pipe is 1,000 m long.

Hanoi City Network: The Hanoi network was used by many researchers and become a test network. It consists of 34 pipes, 31 nodes, and 1 weld. The minimum pressure value in the system is determined as 30 m.

New York City Network: This network was first studied by Schake and Lai [6]. Later, like other networks, it was used by many researchers and became a test network. It consists of 21 pipes, 20 nodes, and 1 chamber. The network was later rehabilitated because the desired pressure value could not be achieved at some points. It differs from other networks as it is a rehabilitation project.

3. Evolutionary Optimization Algorithms

It is aimed to maximize or minimize one or more objectives created with decision variables that define the problems for the solution of problems frequently encountered in production, planning, design and many engineering fields. However, real-world optimization problems often involve multiple objectives that have to be met simultaneously. These problems can be solved deterministically regardless of the number of objectives but reaching the global optimum may cause high time and resource consumption in proportion to the complexity of the problem under consideration. At this point, it is known that evolutionary algorithms are used successfully on problems that cannot be modelled deterministically or where precise results cannot be obtained within reasonable time with mathematical methods.

An optimization problem is formally defined as Eq. (4).

$$\begin{aligned} & \text{Maximize/Minimize} \\ & y = f(x) \\ & \text{Subject to } g(x) = \{g_1(x), g_2(x), \dots, g_J(x)\} \leq 0 \\ & h(x) = \{h_1(x), h_2(x), \dots, h_K(x)\} = 0 \\ & \text{where } x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} \in X \\ & y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\} \in Y \end{aligned} \quad (4)$$

where x is the variable vector and X shows the variable space. y is the objective functions and Y is the objective space. $g(x)$ is a vector of the inequality constraint and $h(x)$ is a vector of the equality constraints.

Evolutionary algorithms do not guarantee to reach the global optimum due to their stochastic operating characteristics, but they often iteratively converge to an acceptable optimal solution, avoiding time and resource consumption. These algorithms create an analogy between the search space in the optimization problem and the heuristic approaches of living things to real-life problems. In other words, evolutionary algorithms are meta-heuristic techniques developed by being inspired by the individual or collective behaviors of living things in the face of complex tasks, evolutionary processes in nature, and physical or chemical reactions. Due to the wide application area and the existence of a wide variety of problems, this field of study continues to maintain its popularity in the literature for years.

In literature, continuous optimization takes up a larger place in terms of problem type, but real-world engineering problems also include many parameters that are discrete in nature. WDN problems are in this category of optimization problems, which are called combinatorial optimization. In continuous optimization, the decision variables can take any value in the search space while the problem of arranging, grouping, ordering, or selecting discrete quantities optimally are take predefined values in the search space [26, 27]. Determining the types, diameters, and sequences of a large number of pipes to be used in the system are strictly considered a combinatorial optimization problem.

These algorithms are generally grouped under three main categories: (i) evolutionary algorithms, (ii) swarm-intelligence algorithms, and (iii) physics-based algorithms. Evolutionary algorithms are population-based intelligent optimization methods that use mechanisms inspired by biological evolution. Genetic Algorithm (GA) [8] and Differential Evolution Algorithm (DE) [19] are the most well-known algorithms in this category. Although Swarm Intelligence algorithms are singularly simple agents in nature, they are techniques developed by being inspired by the collective behavior of centralized and self-organizing creatures such as birds, fishes, and insect colonies that can perform complex tasks collectively. Particle Swarm Optimization (PSO) [16], Artificial Bee Colony (ABC) [22], Ant Colony Optimization (ACO) [32], and Cuckoo Search (CS) [33] algorithms are the most studied algorithms in this category. Physics-based algorithms are meta-heuristic techniques that try to converge to the global optimum by imitating the physical rules in the search space. Some of the algorithms in this category can be listed as Simulated Annealing (SA) [31], Gravitational Search Algorithm (GSA) [30], Water Evaporation Optimization [28], and Thermal Exchange Optimization [29].

However, evolutionary optimization algorithms are classified into two groups as single-objective and multi-objective optimization algorithms according to the number of objectives of the problems they are applied to.

4. Related Works

The works on the design of WDNs started in the 1960s. With the developing technology, it has become easier to design the network that provides the necessary constraints for the network design and gives a low-cost value. The first studies on network design were made with traditional optimization methods. The

study by Schake and Lai [6] is one of the first studies in this field. Researchers have investigated the optimum value of the cost of the New York grid. Researchers have done this by using the traditional optimization method, Dynamic Programming.

The study conducted by Alperovits and Shamir [1] in the following years is one of the most followed studies in the literature. The researchers calculated the global optimum value of an imaginary network consisting of 8 pipes using the Linear Programming method. The 8-pipe imaginary network created in this study became the test network, and the results of all subsequent studies using this test network were compared with the results of this study. The Linear Programming method was also used by Quindry and Liebman [2] to perform cost optimization on the New York grid. As a result of their study, the lowest cost value obtained in previous studies on this network has been reduced by 13%. In the study conducted by Kessler and Shamir [3], the objective function of the Linear Programming method and the flow distribution of the pipes in the network were updated. While the cost value on the working network was higher before the Linear Programming method was updated, a lower cost value was obtained in the study after the Linear Programming method was updated. On the other hand, the steady-state simulation, reliability, and optimization model were combined in a single study by Su et al [4]. In their study, the nonlinear programming method was used as a method.

Traditional optimization methods such as linear and nonlinear programming were unsuccessful in the studies carried out until the 1990s. Since 1990, researchers have started to use metaheuristic methods. In 1990, Monbaliu et al. developed a rule-based algorithm, different from the previous studies, and tried to achieve the global optimum in network design by using this method. In the algorithm they developed first the smallest diameter is assigned to all pipes in the network and the pressure values in the system are calculated. If sufficient pressure cannot be provided at any point in the system, the diameter of the pipe with the greatest head loss is increased to an upper diameter value. This process is continued until the desired pressure condition is achieved at all points in the system. However, the effectiveness of this method has not been proven [7].

The Genetic Algorithm (GA), which has many applications in the literature, was first used by Goldberg in 1989 for network optimization. For the first time, the use of GA has attracted great attention. GA was used in many studies after this study. One of these studies is the study by Simpson et al [8]. They compared the results of their work with the GA with the results of their previous work using nonlinear programming methods. They reached the global optimum result by evaluating in fewer search spaces with GA. In the following years, Dandy et al [9] developed the GA method and suggested that gray coding would be more successful than binary coding in expressing decision variables. Their method was tested on the New York network and was more successful than the raw GA. The GA method was also used by Savic and Walters [10] for network design. They also created a computer model called GANET. Alperovits and Shamir, Hanoi and New York networks were used as networks for cost optimization. Wu and Simpson [11] developed the GA method to make it applicable in large networks. They tested it on the New York and Morocco networks and obtained more successful results than the raw Genetic Algorithm model. Afshar [12] tried to obtain the global optimum value by using the alternative penalty functions with the GA method on Hanoi and New York networks. GA was used by Ozdaglar et al [13] for the optimization of complex drinking water

distribution systems. İzmir Atatürk Organized Industrial Zone (IAOSB) drinking water distribution network is solved with a program called SUGANET, which designs with genetic algorithm, and the results are examined in terms of economy and hydraulics. On the other hand, the GA was developed by Kadu et al [14] in such a way as to reduce the search space, and cost optimization was performed on Hanoi network and different sample networks. Effective results have been obtained in large-sized networks.

In the following years, cost optimization was made by Conceicao Cunha and Ribeiro [15] using Tabu Search method. The results were close to the previously used GA and SA algorithm results. PSO was used for the first time for cost optimization by Suribabu and Neelakantan [16]. Hanoi and Alperovits and Shamir were used as test networks. They reported that successful results were obtained with fewer iterations compared to the studies in which the GA and SA algorithms were used. Montalvo et al [17] made PSO suitable for the selection of discrete pipe diameters in networks. They worked on the New York and Hanoi networks. They drew attention to the speed of the solution of the algorithm and the ease of application of the problems. Ezzeldin et al [18] used PSO to include different velocity and pressure values in the WDN optimization problem and applied them on the Alperovits and Shamir networks.

Suribabu [19] performed cost optimization on sample networks of Hanoi, Alperovits, and Shamir, New York, and the two-chamber networks. DE was used as the method. They stated that more successful results were obtained with the method used compared to GA. Vasan and Simonovic [20] made cost optimization by integrating the DE algorithm into the EPANET program on Hanoi and New York networks. Although low cost was not achieved, successful results were obtained. Zheng et al [21] adjusted the algorithm to reduce the effect of the parameters used in DE on the solution. They have achieved successful results on the New York and Hanoi networks.

Cost optimization was made by Yılmaz [22] on a part of the WDN of Akyurt district of Ankara. He used ABC, GA, and PSO algorithms in his study and although ABC algorithm was used for the first time in this field, it reached hopeful results as much as other approaches. The performances of metaheuristic optimization methods were investigated by Zeybekoğlu [23] in 2017 on a simple water distribution network using Cuckoo and Firefly Algorithms. When the results of the study were compared with the results in the literature, they concluded that the Cuckoo algorithm was more successful. CS was used by Noori [24] to obtain the closest solution to the time-cost-quality trade-off problem in construction projects. With the CS search algorithm, the best or closest results were reached in the shortest time. The solutions obtained with the results of the study were compared with other algorithm solutions in the literature.

5. Conclusions and Recommendations

In academic research on the optimal design of water distribution networks, linear programming was accepted as a popular method in the early days and was applied by many researchers. Later, it is seen that studies using traditional optimization methods such as dynamic programming and nonlinear programming are included in the literature.

Researchers have started to use metaheuristic optimization methods, considering that traditional optimization methods

(Linear & Non-Linear Programming) were insufficient in the studies carried out until the 1990s. Many single-objective metaheuristic optimization algorithms such as Genetic Algorithm, Simulation Annealing, Differential Evolution, Particle Swarm Optimization, Harmony Search, and many others have been proposed for this purpose and it has been seen that more successful results can be achieved than traditional optimization methods.

When the previous studies are examined, it is observed that the obtained cost value is quite close to each other, although the single-objective optimization algorithms used are different. It can be deduced that trying to solve the WDN problem only in the context of cost minimization does not always provide satisfactory results.

In further works, the WDNs problem can be handled as a multi-objective optimization problem. The cost function and the constraints of the problem can be accepted as objective functions conflicting with each other. Thus, thanks to the perspective provided by evolutionary multi-objective optimization algorithms, more efficient and accurate results can be calculated compared to single-objective optimization.

References

- [1] Alperovits E. & Shamir U. (1977), "Design of optimal water distribution systems," *Water Resources Research*, 13(6), 885-900.
- [2] Quindry G. E., Liebman J. C., & Brill E. D. (1981), "Optimization of looped water distribution systems," *Journal of the Environmental Engineering Division*, 107(4), 665-679.
- [3] Kessler A. and Shamir U. (1989), "Analysis of the linear programming gradient method for optimal design of water supply networks," *Water Resources Research*, 25(7), 1469-1480.
- [4] Su Y.C., Mays L. W., Duan N. & Lansey K. E. (1987), "Reliability-based optimization model for water distribution systems," *J Hydraul Eng*, 113(12), 1539-1556.
- [5] Sevük A. S. & Altınbilek D. (1977), *Su Dağıtım Şebekleri Projelendirme ve Bilgisayarla Çözüm Esasları*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- [6] Schaake J. C. & Lai F. H. (1969), *Linear programming and dynamic programming application to water distribution network design*. MIT Hydrodynamics Laboratory.
- [7] Raad D.N. (2011), "Multi-objective optimisation of water distribution systems design using metaheuristics," Stellenbosch: University of Stellenbosch.
- [8] Simpson A. R., Dandy G. C. & Murphy L. J. (1994), "Genetic algorithms compared to other techniques for pipe optimization," *J Water Res Plan Man*, 120(4), 423-443.
- [9] Dandy G. C., Simpson A. R. & Murphy L. J. (1996), "An improved genetic algorithm for pipe network optimization," *Water Resour Res*, 32(2), 449-458.
- [10] Savic D. A. & Walters G. A. (1997), "Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks," *J Water Res Plan Man*, 123(2), 67-77.
- [11] Wu Z.Y. & Simpson A.R. (2001), "Competent genetic-evolutionary optimization of water distribution systems," *J Comput Civil Eng*, 15(2), 89-101.
- [12] Afshar M. (2005), "A convergent genetic algorithm for pipe network optimization," *Sci Iran*, 12(4).
- [13] Özdağlar D., Benzedem E. & Kahraman A.M. (2006), "Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu," *Teknik Dergi*, 17(82), 3851-3867.
- [14] Kadu M.S., Gupta R. & Bhawe P.R. (2008), "Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space," *J Water Res Plan Man*, 134(2), 147-160.
- [15] Conceicao Cunha M. & Ribeiro L. (2004), "Tabu search algorithms for water network optimization," *Eur J Oper Res*, 157(3), 746-758.
- [16] Suribabu C. and Neelakantan T. (2006), "Design of water distribution networks using particle swarm optimization," *Urban Water J*, 3(2), 111-120.
- [17] Montalvo I., Izquierdo J., Pérez R. & Tung M.M. (2008), "Particle swarm optimization applied to the design of water supply systems," *Comput Math Appl*, 56(3), 769-776.
- [18] Ezzeldin R., Djebedjian B. & Saafan T. (2013), "Integer discrete particle swarm optimization of water distribution networks," *J Pipeline Syst Eng*, 5(1), 04013013.
- [19] Suribabu C. (2009), "Differential evolution algorithm for optimal design of water distribution networks," *J Hydroinform*, 12(1), 66-82.
- [20] Vasan A. & Simonovic S.P. (2010), "Optimization of water distribution network design using differential evolution," *J Water Res Plan Man*, 136(2), 279-287.
- [21] Zheng F., Simpson A.R. & Zecchin A. (2012), "A performance comparison of differential evolution and genetic algorithm variants applied to water distribution system optimization," in *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries*, 2954-2963.
- [22] Yılmaz V. (2015), "Su Dağıtım Şebekelerinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu," (yayımlanmamış doktora tezi) Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [23] Zeybekoğlu U. (2017), "Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerinin Performanslarının Basit Bir Su Dağıtım Şebekesi Kullanılarak Araştırılması," *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 57-67.
- [24] Noori M. (2021), "İnşaat projelerinde meta-sezgisel algoritmalar ile süre-maliyet-kalite ödünleşim problemlerinin optimizasyonu," Bursa Uludağ University.
- [25] Karpuzcu, M. (1985). *Su temini ve çevre sağlığı*, Boğaziçi Üniversitesi.
- [26] Cura, T. (2008). *Modern sezgisel teknikler ve uygulamaları*, Papatya Yayıncılık Eğitim.
- [27] Karaboğa, D. (2004). "Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, 1." Basım, İstanbul.
- [28] Kaveh, A. and T. Bakhshpoori (2016). "A new metaheuristic for continuous structural optimization: water evaporation optimization." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 54(1): 23-43.
- [29] Öztürk, Ş., Yiğit, E., & Özkaya, U. (2021). "Fused Deep Features Based Classification Framework for COVID-19 Classification with Optimized MLP." *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 15-27.
- [30] Rashedi, E. (2009). "GSA: a gravitational search algorithm." *Information sciences* 179(13): 2232-2248.
- [31] Selim, S. Z. & Alsultan K. (1991). "A simulated annealing algorithm for the clustering problem." *Pattern recognition* 24(10): 1003-1008.
- [32] Dorigo M. & Stützle T. (2019). "Ant colony optimization: overview and recent advances." *Handbook of metaheuristics*: 311-351.
- [33] Mareli M. & Twala B. (2018). "An adaptive Cuckoo search algorithm for optimisation." *Applied computing and informatics* 14(2): 107-115.



Effect of Pitch Ratio and Diagonal Length of Pin Fin of Heat Sink on Convective Heat Transfer for Turbulent Flow Condition

Noora Imad Haseeb Algburi^{1*}, Hayati Kadir Pazarlioglu², Kamil Arslan³

^{1*} Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6503-9051), nura561152@gmail.com

² Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9365-9431), hayatikadirpazarlioglu@gmail.com

³ Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1216-6812), kamilarslan@karabuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009980)

ATIF/REFERENCE: Algburi, N., I., H., Pazarlioglu, H.K., & Arslan, K. (2021). Effect of Pitch Ratio and Diagonal Length of Pin Fin of Heat Sink on Convective Heat Transfer for Turbulent Flow Condition. *European Journal of Science and Technology*, (28), 643-652.

Abstract

In this study, the impact of pitch ratio and diagonal length of pin fin on the heat sink has been numerically investigated to determine the thermo-hydraulic performance of heat sink under turbulent flow regime. Usage of pin fin on the heat sink has been preferred due to less pressure drop in comparison with general fin type. While the pitch ratio has been changed $0.75 \leq P/e \leq 1.1$, the length of edge of fin has been changed $3 \leq L_{ef} \leq 6$ as geometric parameters. The working range of the study has been considered as turbulent flow regime ($2658 \leq Re \leq 7138$). The computational study has been carried out on ANSYS Fluent 2020R2 using SST $k-\omega$ with low- Re correction model to calculate RANS equations. The factors, which define thermo-hydraulic performance of the study, such as average Nusselt number, average Darcy friction factor, and thermal resistance has been elucidated in detail. Also, to detect flow characteristics comprehensively, the contours have been created for vorticity, temperature, and velocity streamline. As a results of overall assessment of this study, it is concluded that the maximum convective heat transfer performance has been obtained using Case 12 by 52% compared with the Case 1 at $Re=7138$.

Keywords: Heat sink, Hexagonal pin fin, Convective heat transfer, CFD.

Türbülanslı Akış Durumunda Isı Kuyusunun İğne Kanatçığının Adım Oranının ve Köşegen Uzunluğunun Konvektif Isı Transferine Etkisi

Öz

Bu çalışmada, türbülanslı akış rejimi altında ısı kuyusunun termo-hidrolik performansını belirlemek için ısı kuyusu üzerindeki iğne kanatçığın köşegen uzunluğu ve adım oranının etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Genel kanatçık tiplerine kıyasla daha az basınç düşümüne sebep olduğu için iğne kanatçık kullanımı tercih edilmiştir. Geometrik parametere olarak, adım oranı $0.75 \leq P/e \leq 1.1$ değiştirilirken, iğne kanatçığın köşe uzunluğu $3 \leq L_{ef} \leq 6$ olarak değiştirilmiştir. Çalışma aralığı türbülanslı akış rejimi olarak düşünülmüştür ($2658 \leq Re \leq 7138$). Hesaplamalı çalışmada RANS denklemlerini çözmek için low- Re düzeltme modeli ile SST $k-\omega$ kullanılarak ANSYS Fluent 2020R2 üzerinde gerçekleştirilmiştir. Termo-hidrolik performansı ifade eden ortalama Nusselt sayısı, Ortalama Darcy sürtünme faktörü ve termal rezistans gibi faktörler detaylıca ele alınmıştır. Ayrıca, akış karakteristiğini detaylıca inceleyebilmek için girdap ve sıcaklık eş eğrileri ve hız akış çizgileri oluşturulmuştur. Genel değerlendirme sonucu olarak, $Re=7138$ 'de maksimum konvektif ısı transferi performansı Case 1'e kıyasla %52 oranla Case 12 kullanılarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı kuyusu, Altıgen iğne kanatçık, Konvektif ısı transferi, HAD

* Corresponding Author: nura561152@gmail.com

1. Introduction

After the rapid development of small-sized electrical circuit systems, it has become necessary to manage the thermal technology of high-power devices to suit such development [1]. Keeping electronic devices within the operating temperature range is essential for highly reliable electronic systems. Also, rising temperatures make systems more prone to failure and less reliable. Therefore, it is important to highlight that maintaining electronic systems within the operating temperature not only avoids system failure, but also improves the performance of power electronics components [2]. Thermal energy transfer rates are improved by two types of techniques, passive techniques that do not require additional energy sources, and techniques that require additional energy, and the latter are active technologies [3]. Heat sink, the most common method for passive technique, due to its ability to dissipate large heat in less time in addition to its cheapness and simplicity is one of the most popular heat dissipation techniques in many electronic equipment cooling systems [4], such as computer processor cooling systems, air conditioners and aircraft cooling engines [5]. The heat sink is fitted with fins to increase and improve heat dissipation [6]. A cooling medium is used through the heat sink, and this medium may be air, water or one of the nanofluids [7–13]. One of the most famous techniques used is the forced convection heat sink with air as a cooling medium, and this is needed for ease of maintenance, low cost, and simplicity. Due to the high demand for improving the performance and efficiency of heat dissipation sink [14], it has been taken as a basis for this research work. Comparative studies have been conducted between square and circular configurations of pin fin basins, which showed that circular fins with a diameter of 3 mm had the best thermal performance in thermal management of electronic devices [15]. The performance is also improved by 30% in the upstream position of the heat sink [15,16]. Then, lateral air performance experiments under mixed convection (natural and forced) for fully covered elliptical fin basins with circular and oval fins [16]. Where the results showed a decrease in thermal performance with increasing the spacing of the fins. Many studies aimed to enhance the efficiency of the heat sink in different ways and techniques summarized by Prabhakar and Prajapati [17]. A study by Bhandari and Prajapati, the effect of fin length has been studied for a small channel containing an open space between the two surfaces, the bottom surface of the heat dissipation basin and the upper surface of the fin. The results showed that the heat transfer rate is enhanced when the fin length reaches 1.5 mm and tends to decrease after this value [18]. Experiments reported the effect of both forced and natural convection on a heat sink with a flat copper metal base with fins for heat dissipation where the power input has been heated by Ozsipahi et al. [19]. Conducted twenty-three three-dimensional simulations, where each design parameter has been examined in three variables, where the fin height, distance between the fins and Reynolds number have been determined as design parameters, while the heat sink resistance and pressure drop are the performance criteria, as the fin height with increasing Reynolds number lead to a decrease in thermal resistance. The numerical investigation has been done by Soleymani et al. [20] to examine the heat transfer rate in a hybrid heat sink consisting of twenty-five fins in the back region and forty-three in the hotspot region, where the geometric properties such as fin shape, angle, microchannel wall wave, and Reynolds number have been investigated. The results showed that the fin

with rounded edges has better thermal performance than the other design parameters, and the heat transfer rate increases with the increase in the angle. In addition, as the increase in the height of the wall wave increases the convective heat transfer rate. A new design has been made for a heat sink by Wang et al. [21], which contains double channels that combine porous vertical ribs and wavy micro-channels. The flow behaviour of this design has been examined by applying three different conditions. As it has been found that the thermal resistance decreases with increases porous permeability. Saravanakumar and Kumar [22] worked on performing an experimental investigation to elucidate hydro-thermal performance of the heat sink with/without rectangular fins under forced convection in different factors. It is concluded that heat sink with rectangular fins presents higher heat transfer rate than smooth heat sink by 10%. Attar et al. [23] investigated a micro-processor cooling with heat sink. The novel heat sink design has been compared to conventional one. Heat dissipation from heat sink has been monitored atomic force microscopy, and electron microscopy to examine the surface structures of heat sinks. This study aims to demonstrate the possibility of reducing the weight of aluminium heat sinks, the thermal management of a system with a higher heat transfer by using a heat sink of a certain size.

After literature review, it has been found that there is no adequate research showing the effect of changing different heat sink with pin fin parameters, so this research is a stimulating new horizon to literature. Where this research aims to study the thermal and hydraulic performance characteristics of the hexagonal pin fins.

2. Material and Method

2.1. Physical Model

The model has been constructed with two different parts: a rectangular duct and a heat sink with hexagonal pin fins. The fundamental dimensions of numerical model and the cases is presented in Fig. 1. The cross-section of the rectangular duct has been taken to be 120x120 mm and the length equals to 500 mm. Also, the heat sink has been taken place with 25 pin fins on the square plain with 100x100 mm placed at the middle of the rectangular duct. In addition, 5 mm gap has been left between square base of heat sink and bottom surface of rectangular duct. The distance between fin-to-fin toward streamwise direction has been taken constant as 20 mm and the distance between fin-to-fin toward spanwise direction has been changed with the dimensionless form (P/e). While P defines the spanwise direction with three different values 15 mm, 20 mm, and 22 mm, e explains the streamwise direction as a constant value equal to 20 mm. The edge length of the fins has been taken with different values as 6 mm, 5 mm, 4 mm, and 3 mm. The schematic view of the fluid domain and the boundary conditions can be seen in Fig. 2. In this study, the turbulent flow condition in the transient region has been performed with $2658 \leq Re \leq 7138$.

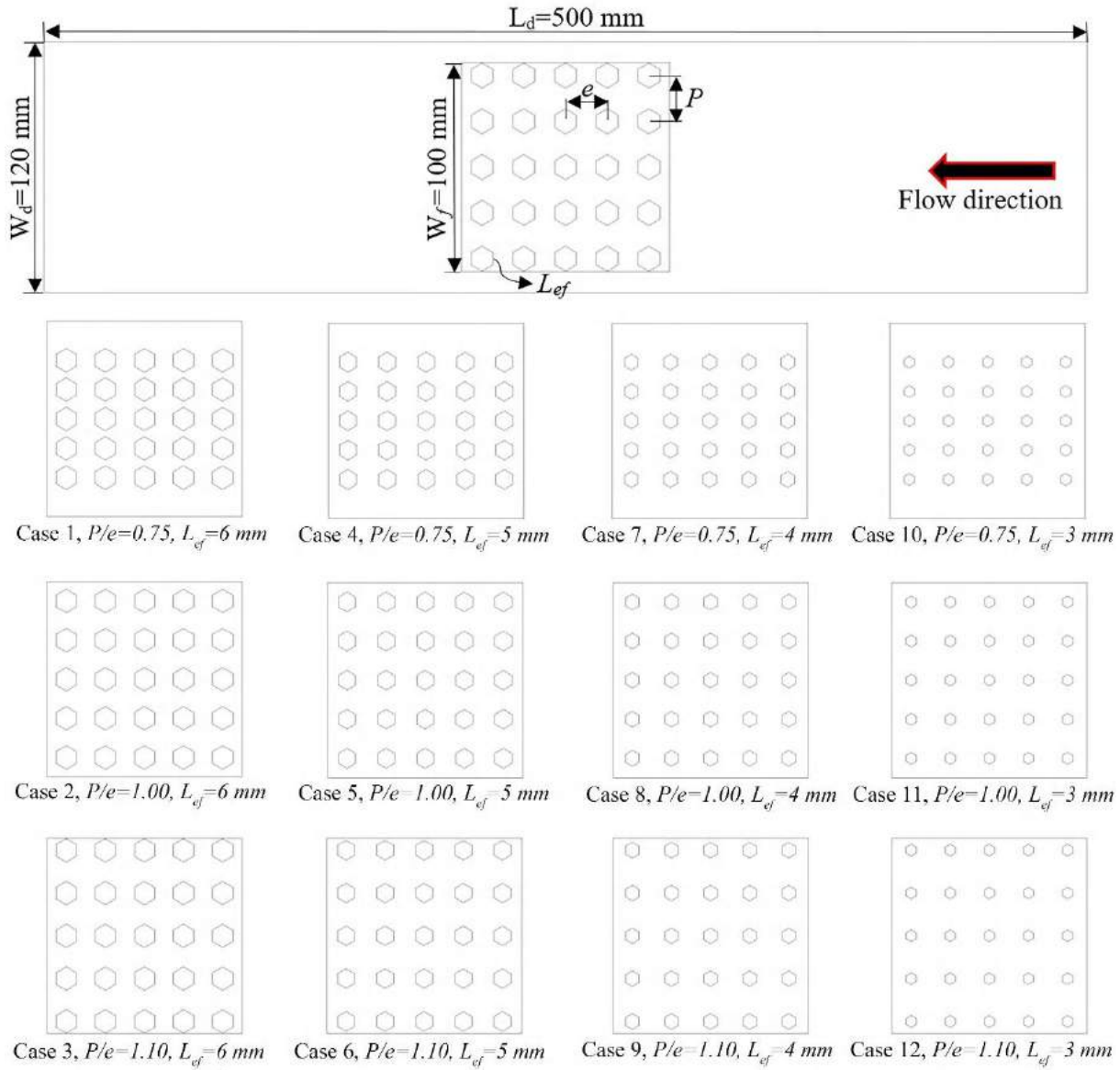


Fig. 1. Schematic of a model and Cases.

2.2. Governing Equations

All simulations have been carried out using ANSYS Fluent 2020R2 and based on RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations*) equations. The physical model has been designed as 3-D model. Also, to solve computational domain, *SST k- ω* with low-*Re* correction model has been utilized for all analyses. Enhanced Wall Treatment model has been applied as the wall treatment model. Also, the governing equations used in the analyses are presented as following:

Conservation of mass:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Conservation of momentum:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + i \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j}) \quad (2)$$

Conservation of energy:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[u_j (\rho E + Pr) \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\left(k + \frac{C \mu_i}{Pr} \right) \right] \frac{\partial T}{\partial x_j} + \mu_i (\tau_{ij})_{eff} \quad (3)$$

Turbulence equations:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \omega u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (5)$$

Also, to express of the results from calculations, nondimensional numbers have been used in this study:

Reynolds number can be defined as:

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (6)$$

where, ρ [kg/m^3], V [m/s], D_h and μ [kg/ms] is the density of working fluid at bulk temperature, the average velocity, the hydraulic diameter of the duct, and the dynamic viscosity of working fluid at bulk temperature, respectively.

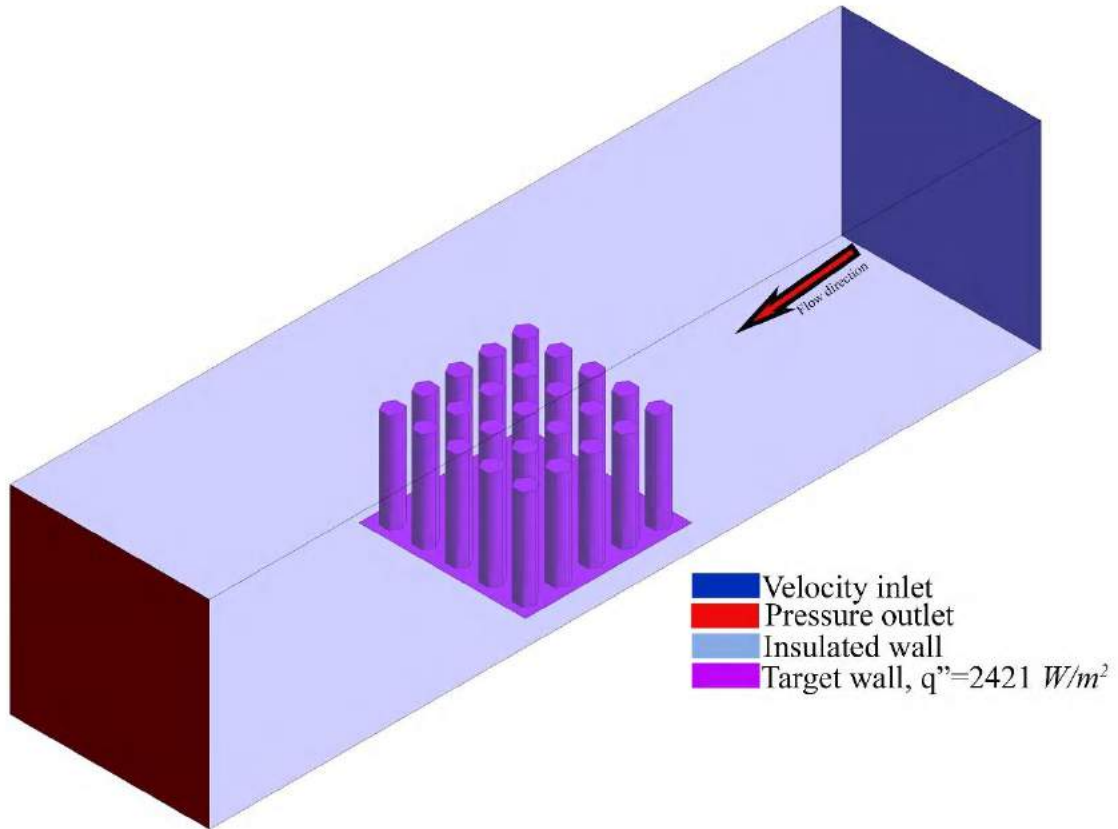


Fig. 2. Explanation of computational domain and the boundary condition.

Convection heat transfer rate can be calculated as:

$$h = \frac{q''}{(T_w - T_b)} \quad (7)$$

where, heat flux is defined as q'' [W/m^2]. T_w [K] is average surface temperature of heat sink ($T_{wall, HS}$), T_b [K] is also average temperature of inlet and outlet temperatures.

Average Nusselt number (Nu) can be defined as:

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (8)$$

where, k [$W/m.K$] is the thermal conductivity of the working fluid at the bulk temperature.

Thermal resistance (R) can also be calculated as follow:

$$R = \frac{T_{avg.,HS} - T_{in}}{q''} \quad (9)$$

The turbulent intensity can be expressed with Eq. (10) as:

$$I = 0.16Re^{(-1/8)} \quad (10)$$

Average Darcy friction factor (f) can be calculated by using:

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{\rho \cdot V^2}{2}\right)} \quad (11)$$

where, ΔP is the pressure drop, L is the total length of duct, D defines hydraulic diameter, ρ is the density of working fluid.

2.3. Numerical Details

The fluid is entered at a temperature of $T_{in} = 300$ K into a numerical domain. While the no-slip condition with constant heat flux boundary condition have been conducted to heat sink, the no-slip condition with adiabatic boundary condition have been applied on the duct's surfaces. The pressure outlet boundary condition has been applied for outlet section. In terms of more accurate and fast solution for internal flow, the *SIMPLE* pressure-velocity coupling method has been utilized all of the analyses [24]. Since the aspect ratio is lower than 10 and the orthogonal quality is higher than 1, the second-order upwind scheme has been used for numerical analyses. The all residuals have been reached 10^{-6} as a converging criterion. Also, the boundary conditions are presented in Table 1. Thermo-physical properties of working fluid can also be seen from Table 2.

Table 1

<i>Re</i>	-	2658-7138
<i>Average Velocity</i>	<i>m/s</i>	0.35-0.94
<i>Pressure Outlet</i>	<i>atm</i>	1
<i>Turbulence Intensity</i>	<i>%</i>	5.21-5.97
<i>q''</i>	<i>W/m²</i>	2421

Table 2

Fluid	Density [<i>kg / m³</i>]	Dynamic Viscosity [<i>Pa.s</i>]	Specific Heat [<i>J / kgK</i>]	Thermal Conductivity [<i>W / mK</i>]
<i>Air</i>	1.176	1.858e-05	1007	0.02566

2.4. Mesh Verification Study

The one of the important things needed to be considered is mesh independency study to ensure whether analysis results change with variation of mesh number or not. To determine feasible mesh number, numerical calculations with the eight different mesh numbers have been performed. The all mesh studies have been performed for Case 2 at *Re*=7138. As can be seen from the Fig. 3, there is not any considerable changing after sixth mesh structure for average Nusselt number and average Darcy friction factor. Therefore, the sixth mesh structure (*Mesh Elements Number*=1194130) has been chosen for the optimum mesh structure for this study. As can be seen from Fig. 4, the denser mesh has been applied for inlet, outlet of the duct and onto

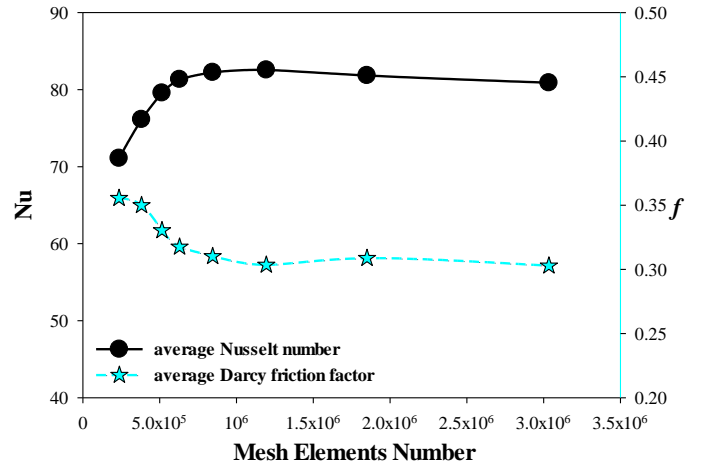


Fig. 3. Mesh independence study at *Re* =7138.

the heat sink placed at the middle of the duct. Also, the aspect ratio, orthogonal quality and skewness values, which define the quality of the mesh structure, have been monitored for each analysis to examine mesh quality. It is noted that there is another criterion determining analysis quality norm is normalized distance from the wall (y^+). When the SST *k- ω* with low-*Re* correction model is used, the y^+ value should be lower than 1 to obtain feasible calculation near the walls. For this purpose, the y^+ value has been kept almost 0.3845 for each case.

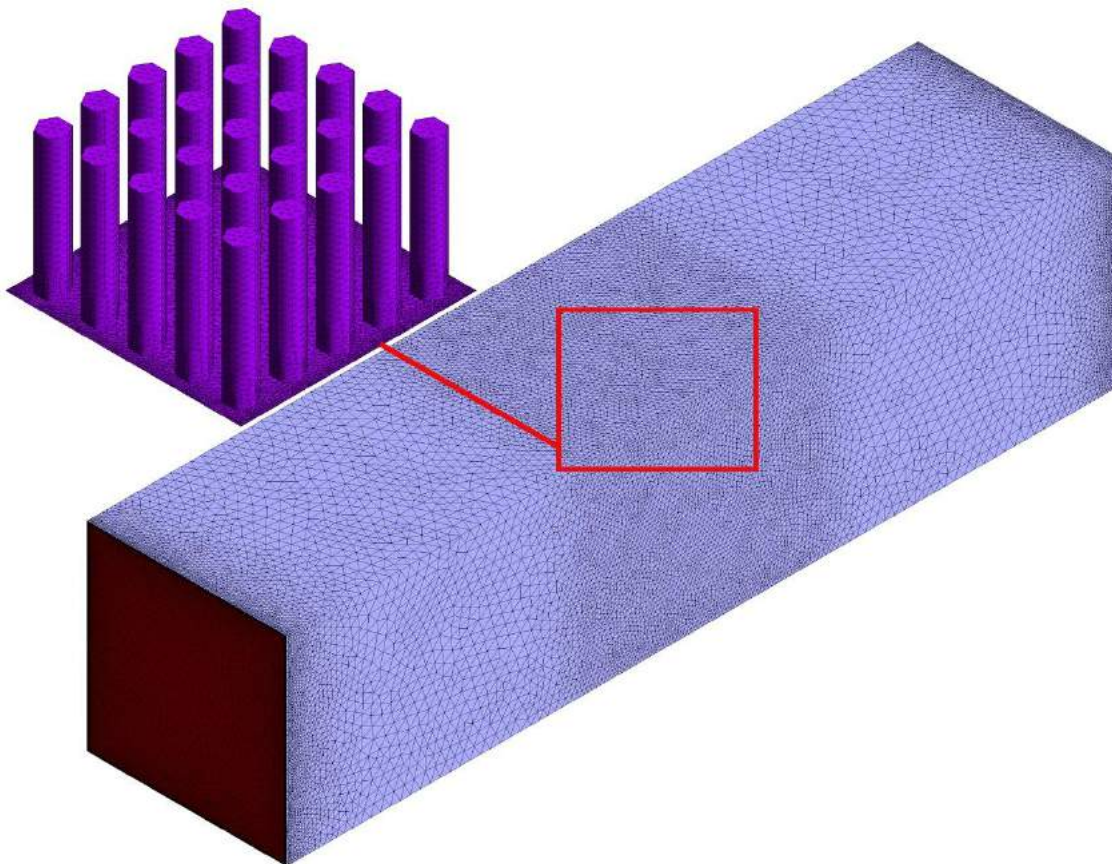


Fig. 4. Mesh structure of computational domain.

2.5. Selection of Turbulence Model and Validation with Literature

To perform a study under turbulent flow condition, there are several types of turbulence models in the ANSYS Fluent. Hence, the calculation performance of different turbulence models should be obtained for the same case to determine optimum feasible turbulence model. In this study, *SST k- ω* , *Transition SST*, *RNG k- ϵ* , *Realizable k- ϵ* turbulence models have been calculated to compare with the experimental data of El-Said et al [1]. As can be seen from Fig. 5, the average Nusselt number and average Darcy friction factor variation with the Reynolds number are shown for different turbulence models. It is concluded that the *RNG k- ϵ* , and *Realizable k- ϵ* turbulence models have been presented over-estimated deviation in comparison with experimental data by 9% and 10.72%, respectively. Nonetheless, while the *Transition SST* shows the deviation almost 6%, the *SST k- ω* , which presents the most feasible result, establishes the deviation almost 4% in comparison with experimental data of El-Said et al. [1].

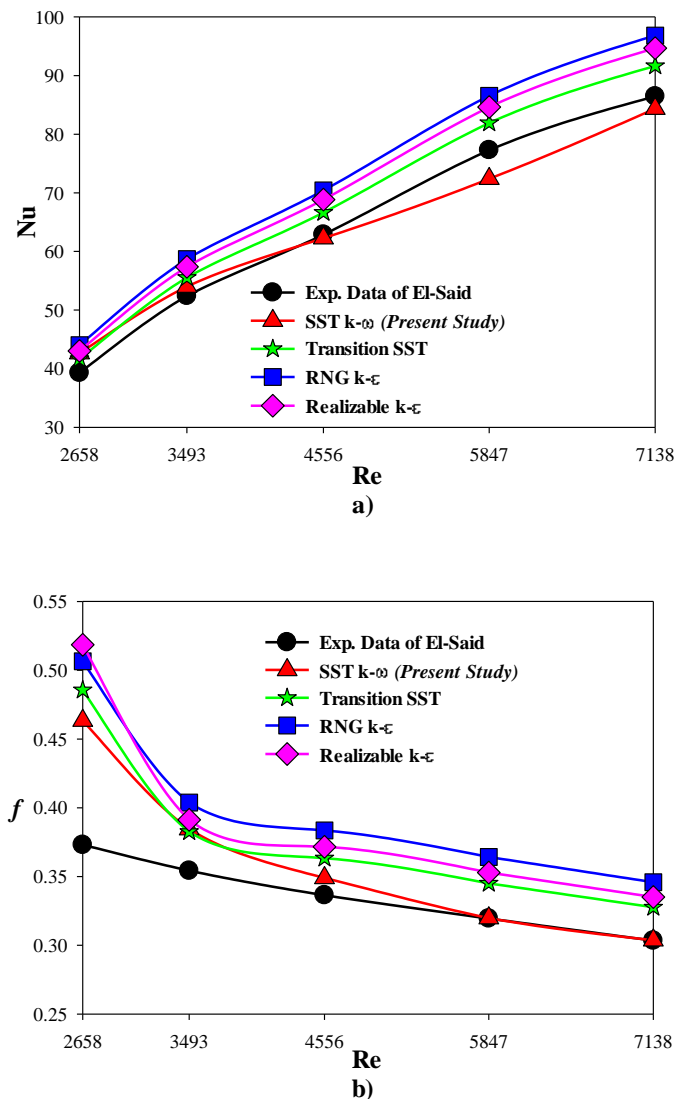


Fig. 5. Performance comparison of different turbulence model for a) average Nusselt number, b) average Darcy friction factor.

3. Results and Discussion

3.1. Effect of pitch ratio and diagonal length of pin fin on convective heat transfer and temperature distribution

The impact of different cases in terms of the average Nusselt number distribution with Reynolds number can be seen in Fig. 6. As can be expected, the minimum and maximum value for average Nusselt numbers have been obtained in minimum and maximum Reynolds numbers, respectively. In addition, the highest convective heat transfer rate obtains in Case 12 and the lowest one with Case 1 in all Reynolds numbers. While the Case 12 presents enhancement in heat transfer rate by 56% at $Re=2658$ in comparison with Case 1, it provides increment by 52% at $Re=7138$. It is concluded that the increment pitch ratio and decrease diagonal length provide more heat transfer.

Also, the surface Nusselt number distribution can be seen in Fig. 7 for $Re=7138$. The surface Nusselt number enhances by increasing the pitch ratio and decreasing diagonal length of pin fin due to providing more stable fluid flow over the heat sink. Also, the surface Nusselt number decreases toward streamwise direction but the decrease in surface Nusselt number can be minimized by increasing the pitch ratio and decreasing diagonal length of pin fin.

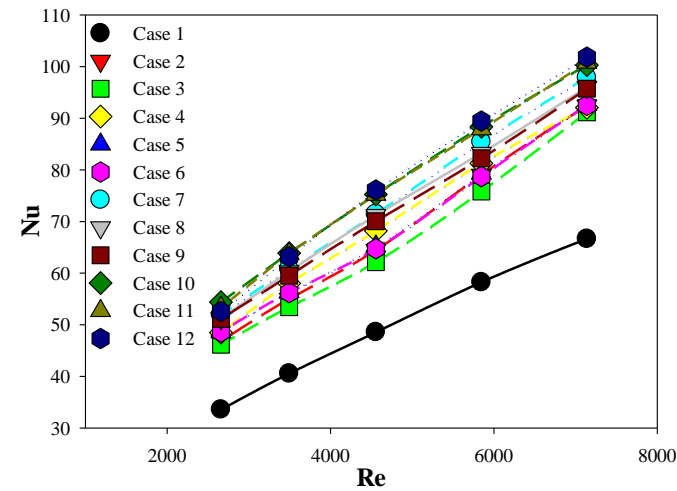


Fig. 6. Variation of average Nusselt number with Reynolds number for different cases.

On the other hand, the hydraulic performance of novel heat sink design is one of the important points to decide if the configuration acceptable or not. Beside of it is importance in determining configuration, it is also important in terms of research, innovation, and commercialization. For this purpose, variation of average Darcy friction factor is given in Fig. 8 to elucidate hydraulic performance of heat sink. While the maximum average Darcy friction factor has been obtained at $Re=2658$, the minimum one acquired at $Re=7138$. Then, the optimum enhancement in average Darcy friction factor is obtained in Case 12 for all Reynolds numbers in comparison with other cases. While it is obtained as 0.43 in Case 1 at $Re=7138$, it is acquired as 0.21 in Case 12 at $Re=7138$.

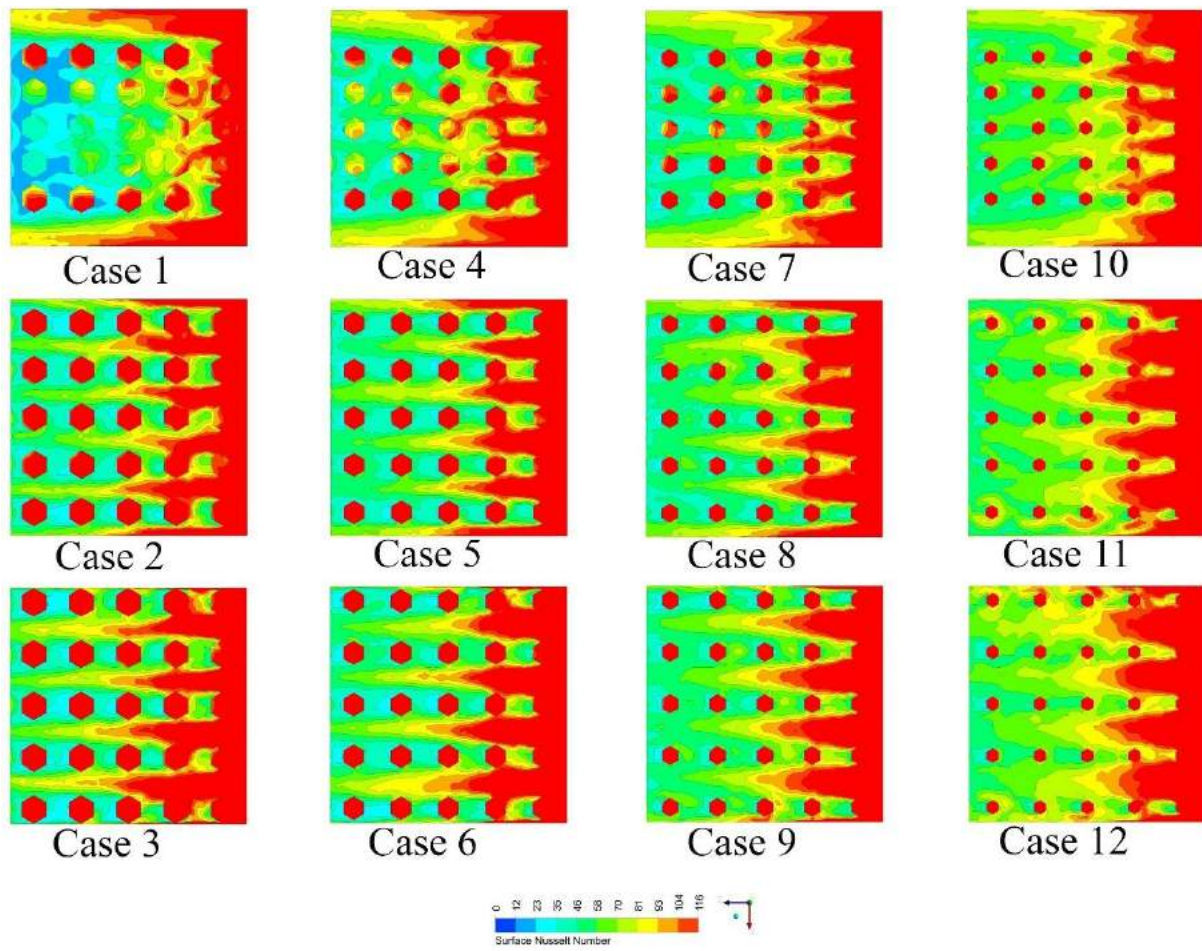


Fig. 7. Surface Nusslet number distribution over the heat sink for different cases at $Re=7138$.

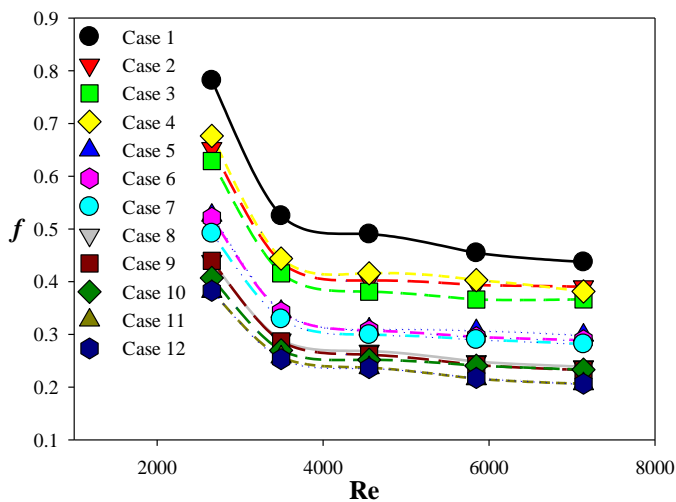


Fig. 8. Variation of average Darcy friction factor with Reynolds number for different cases.

The surface temperature contours are seen in Fig. 9 for all cases at $Re=7138$. As can be seen that the comparatively low temperature region is taken place at the first interaction region between fluid and heat sink toward the streamwise, but the effectivity of coolant fluid is decreased toward the streamwise due to more interaction between fluid and heat sink. Also, the

minimum effective cooling over heat sink is achieved in Case 1 and the maximum effective cooling over heat sink is obtained in Case 12.

Also, the wider diagonal length leads to less cooling over the heat sink, but the narrower diagonal length leads to more cooling over the heat sink for all cases due to increment in interaction coolant fluid and heat sink. That is why the more convective heat transfer rate is obtained in Case 12 for all Reynolds numbers. Variation of average surface temperature of heat sink with all Reynolds numbers is presented in Fig. 10. As can be seen in this figure, while the minimum cooling of heat sink is achieved in Case 1, the maximum cooling performance is obtained in Case 12 for all Reynolds numbers. Then, the maximum average heat sink surface temperature is achieved at minimum Reynolds number, the minimum average surface temperature of heat sink is also seen at maximum Reynolds number. Although the lower diagonal length and wider pitch ratio of pin fins for Case 12, average temperature of heat sink is lower compared with other cases. That is why the utilizing small diagonal length with high pitch ratio leads to passing faster flow among the pin fins and heat sink surface and the lower average surface temperature and higher heat transfer rate is achieved for all Reynolds numbers.

The thermal resistance, which is important parameter for heat sink, can be seen for all cases versus Reynolds number in Fig. 11. While the higher thermal resistance is obtained with Case 1, the lower one with Case 12 due to comparatively lower average surface temperature of heat sink. This trend is the same with Fig. 10.

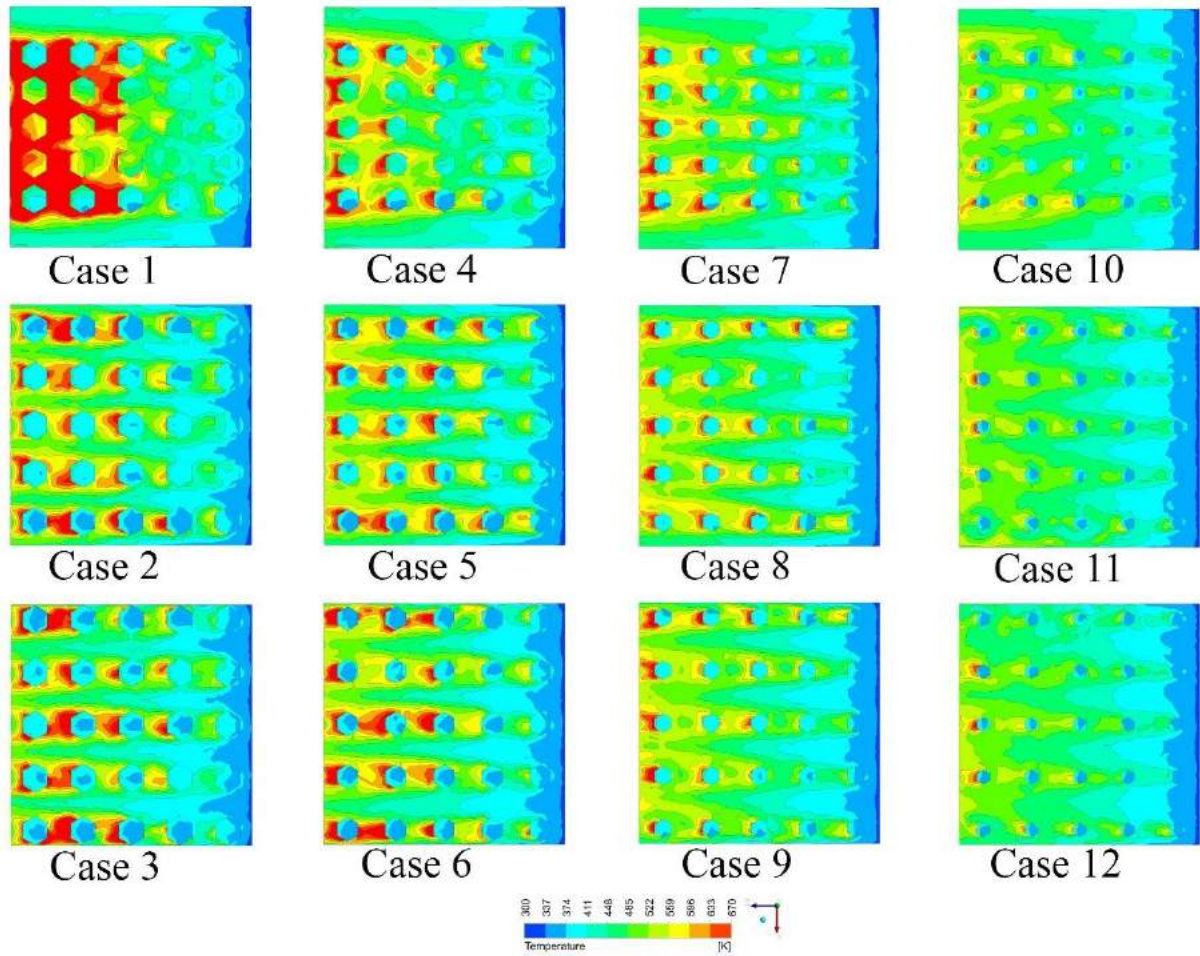


Fig. 9. Heat sink surface temperature distribution in different cases at $Re=7138$.

Also, it is noted that increase in Reynolds number leads to decrease in thermal resistance, which is associated with increment in thermal performance of heat sink. Also, decrease in thermal resistance can be associated with more uniform mixing coolant fluid flow inside the heat sink, which means automatically effect convective heat transfer performance positively.

3.2. Assesment of flow characretistics

Fig. 12 establishes the vorticity contours over heat sink for all cases at $Re=7138$. As can be seen from this figure, strong vorticities are occurred top and bottom surface on X direction and at the beginning of the heat sink on Z direction and first column of pin fins due to more higher fluid velocity.

Also, it should be realized that an increase the pitch ratio and a decrease diagonal length of pin fins cause decrease in vorticity occurring due to more uniformly distribution for fluid flow among pin fins. The vorticities are taken place higher with increase pitch ratio on the bottom surface of heat sink and occurred less with the decrease diagonal length on the top surface of pin fin. The occurrence of more uniform and stronger vorticity over the heat sink by increasing pitch ratio and decreasing diagonal length leads to enhancement convective heat transfer rate.

Fig. 13 shows velocity streamlines for all cases at $Re=7138$. As can be seen clearly from this figure, the coolant velocity is relatively higher at the beginning of the heat sink for Case 1 and Case 4, but it decreases as the moving fluid toward the streamline due to denser configuration of pin fins. Nevertheless, with the increase in pitch ratio and decrease in diagonal length, the more uniform streamline can be achieved over heat sink. With the help of uniform fluid flow, uniform surface temperature distribution can be achieved over heat sink and so the higher convective heat transfer rate also can be obtained.

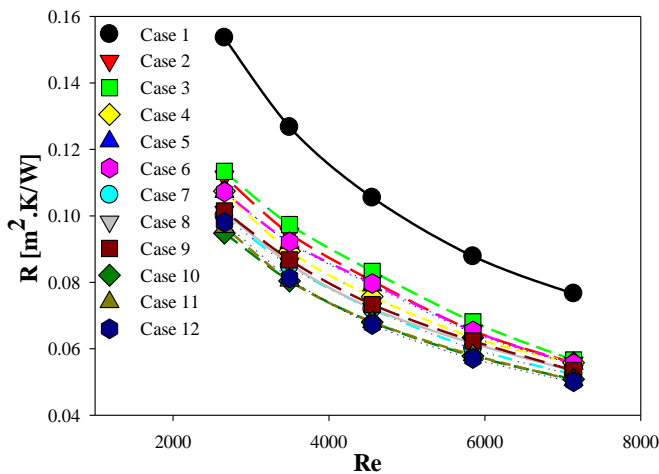


Fig. 11. Variation of thermal resistance with Reynolds number for all cases.

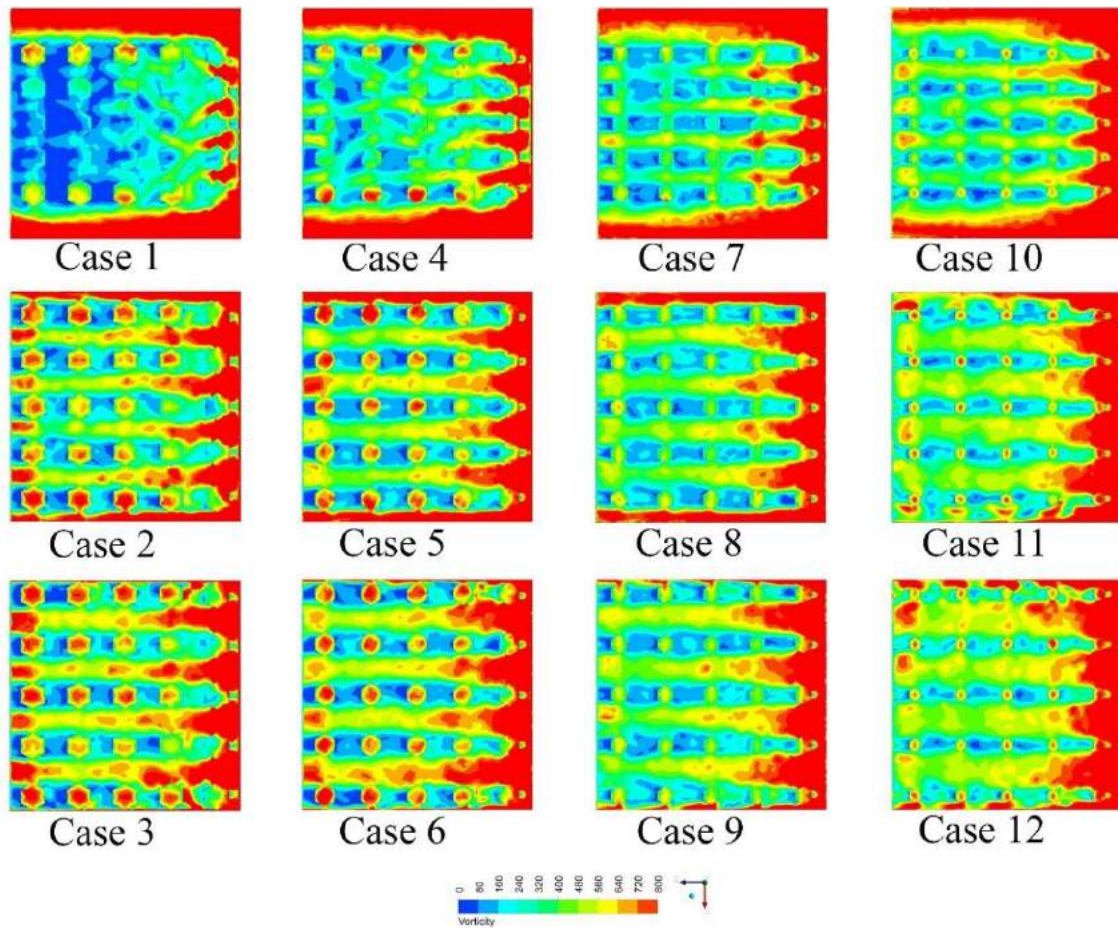


Fig. 12. Vorticity variations over the heat sink in different cases at $Re=7138$.

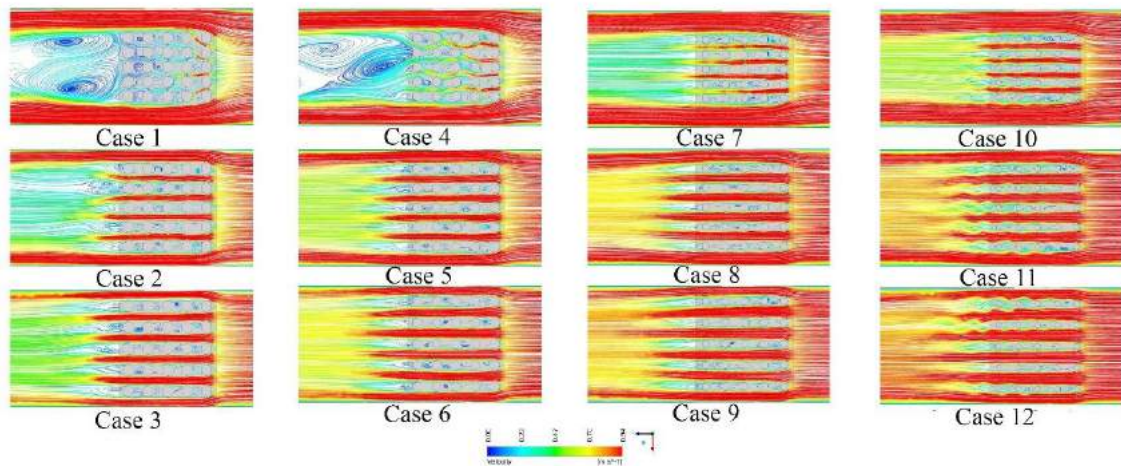


Fig. 13. Velocity streamlines toward streamwise direction for all cases at $Re=7138$.

4. Conclusions and Recommendations

In the present study, the numerical computations are performed to elucidate thermo-hydraulic performance of different configurations of heat sink with pin fins under turbulent flow conditions. The impact of Reynolds number, pitch ratio and diagonal length of pin fins are studied.

The findings are described as follows:

- An increment in Reynolds number and pitch ratio enhances the convective heat transfer rate, decreases average surface temperature of the heat sink. Besides, a decrease in diagonal length provides an increment in

convection coefficient and more uniform surface temperature distribution.

- While the Case 1 gives the lowest convective heat transfer rate, the Case 12 presents the highest convective heat transfer rate for all Reynolds numbers.
- The enhancement of Average Nusselt number for Case 12 is obtained by 56.52%, 55.75%, 56.68%, 53.62%, and 52.77% for $Re=2658, 3493, 4556, 5847,$ and 7138 compared with Case 1, respectively.
- The enhancement of average Darcy friction factor for Case 12 is acquired with 104.35%, 107.48%, 107.68%,

109.05%, and 111.87% $Re=2658, 3493, 4556, 5847,$ and 7138 compared with Case 1, respectively.

- Consequently, the overall assessment of this study is that higher pitch ratio with lower diagonal length provides higher convective heat transfer rate due to uniform fluid moving among the pin fins.

References

- [1] E.M.S. El-Said, G.B. Abdelaziz, S.W. Sharshir, A.H. Elsheikh, A.M. Elsaid, Experimental investigation of the twist angle effects on thermo-hydraulic performance of a square and hexagonal pin fin array in forced convection, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 126 (2021) 105374. <https://doi.org/10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2021.105374>.
- [2] B. Sahin, K. Yakut, I. Kotcioglu, C. Celik, Optimum design parameters of a heat exchanger, *Appl. Energy.* 82 (2005) 90–106. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2004.10.002>.
- [3] Y.F. Pang, Assessment of Thermal Behavior and Development of Thermal Design Guidelines for Integrated Power Electronics Modules, (2005).
- [4] N.A.C. Sidik, M.N.A.W. Muhamad, W.M.A.A. Japar, Z.A. Rasid, An overview of passive techniques for heat transfer augmentation in microchannel heat sink, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 88 (2017) 74–83. <https://doi.org/10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2017.08.009>.
- [5] M. Turkyilmazoglu, Effective computation of solutions for nonlinear heat transfer problems in Fins, *J. Heat Transfer.* 136 (2014) 1–6. <https://doi.org/10.1115/1.4027772>.
- [6] M. Turkyilmazoglu, Efficiency of heat and mass transfer in fully wet porous fins: Exponential fins versus straight fins, *Int. J. Refrig.* 46 (2014) 158–164. <https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2014.04.011>.
- [7] L. Lin, J. Zhao, G. Lu, X.D. Wang, W.M. Yan, Heat transfer enhancement in microchannel heat sink by wavy channel with changing wavelength/amplitude, *Int. J. Therm. Sci.* 118 (2017) 423–434. <https://doi.org/10.1016/J.IJTHERMALSCI.2017.05.013>.
- [8] N. Patel, H.B. Mehta, Experimental investigations on a variable channel width double layered minichannel heat sink, *Int. J. Heat Mass Transf.* 165 (2021) 120633. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2020.120633>.
- [9] H. Mousavi, A.A. Rabienataj Darzi, M. Farhadi, M. Omidi, A novel heat sink design with interrupted, staggered and capped fins, *Int. J. Therm. Sci.* 127 (2018) 312–320. <https://doi.org/10.1016/J.IJTHERMALSCI.2018.02.003>.
- [10] Y. Yan, Z. He, G. Wu, L. Zhang, Z. Yang, L. Li, Influence of hydrogels embedding positions on automatic adaptive cooling of hot spot in fractal microchannel heat sink, *Int. J. Therm. Sci.* 155 (2020) 106428. <https://doi.org/10.1016/J.IJTHERMALSCI.2020.106428>.
- [11] M. Izadi, Effects of porous material on transient natural convection heat transfer of nano-fluids inside a triangular chamber, *Chinese J. Chem. Eng.* 28 (2020) 1203–1213. <https://doi.org/10.1016/J.CJCHE.2020.01.021>.
- [12] M. Izadi, M.A. Sheremet, S.A.M. Mehryan, I. Pop, H.F. Öztop, N. Abu-Hamdeh, MHD thermogravitational convection and thermal radiation of a micropolar nanoliquid in a porous chamber, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 110 (2020) 104409. <https://doi.org/10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2019.104409>.
- [13] M. Izadi, M. Javanahram, S.M.H. Zadeh, D. Jing, Hydrodynamic and heat transfer properties of magnetic fluid in porous medium considering nanoparticle shapes and magnetic field-dependent viscosity, *Chinese J. Chem. Eng.* 28 (2020) 329–339. <https://doi.org/10.1016/J.CJCHE.2019.04.024>.
- [14] Y. Yoon, S.J. Park, D.R. Kim, K.S. Lee, Thermal performance improvement based on the partial heating position of a heat sink, *Int. J. Heat Mass Transf.* 124 (2018) 752–760. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2018.03.080>.
- [15] H.M. Ali, A. Arshad, M. Jabbal, P.G. Verdin, Thermal management of electronics devices with PCMs filled pin-fin heat sinks: A comparison, *Int. J. Heat Mass Transf.* 117 (2018) 1199–1204. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2017.10.065>.
- [16] P.A. Deshmukh, R.M. Warkhedkar, Thermal performance of elliptical pin fin heat sink under combined natural and forced convection, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 50 (2013) 61–68. <https://doi.org/10.1016/J.EXPTHERMFLUSCI.2013.05.005>.
- [17] P. Bhandari, Y.K. Prajapati, Thermal performance of open microchannel heat sink with variable pin fin height, *Int. J. Therm. Sci.* 159 (2021) 106609. <https://doi.org/10.1016/J.IJTHERMALSCI.2020.106609>.
- [18] K.S. Ong, C.F. Tan, K.C. Lai, K.H. Tan, Heat spreading and heat transfer coefficient with fin heat sink, *Appl. Therm. Eng.* 112 (2017) 1638–1647. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2016.09.161>.
- [19] M. Ozsipahi, A. Subasi, H. Gunes, B. Sahin, Numerical investigation of hydraulic and thermal performance of a honeycomb heat sink, *Int. J. Therm. Sci.* 134 (2018) 500–506. <https://doi.org/10.1016/J.IJTHERMALSCI.2018.07.034>.
- [20] Z. Soleymani, M. Rahimi, M. Gorzin, Y. Pahamli, Performance analysis of hotspot using geometrical and operational parameters of a microchannel pin-fin hybrid heat sink, *Int. J. Heat Mass Transf.* 159 (2020) 120141. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2020.120141>.
- [21] S.-L. Wang, L.-Y. Chen, B.-X. Zhang, Y.-R. Yang, X.-D. Wang, A new design of double-layered microchannel heat sinks with wavy microchannels and porous-ribs, *J. Therm. Anal. Calorim.* 141 (2020) 547–558. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09317-3>.
- [22] T. Saravanakumar, S.D. Kumar, Heat transfer study on different surface textured pin fin heat sink, *Int. Commun. HEAT MASS Transf.* 119 (2020).
- [23] M.R. Attar, M. Mohammadi, A. Taheri, S. Hosseinpour, M. Passandideh-Fard, M. Haddad Sabzevar, A. Davoodi, Heat transfer enhancement of conventional aluminum heat sinks with an innovative, cost-effective, and simple chemical roughening method, *Therm. Sci. Eng. Prog.* 20 (2020) 100742. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2020.100742>.
- [24] H.K. Pazarhoğlu, R. Ekiciler, K. Arslan, Numerical Analysis of Effect of Impinging Jet on Cooling of Solar Air Heater with Longitudinal Fins, *Heat Transf. Res.* 52 (2021). <https://doi.org/10.1615/heattransres.2021037251>.



DA/DA Alçaltıcı Tip Dönüştürücü Devresinin TS-EN 61000-3-2 Standardına Uyumlu Hale Getirilmesi

Ayşenur Özer^{1*}, Ersoy Kelebekler²

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0577-4200), 205103010@kocaeli.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Uzunçiftlik Nuh Çimento MYO Fakültesi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9407-3926), ersoy@kocaeli.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009998)

ATIF/REFERENCE: Özer, A. & Kelebekler, E. (2021). DA/DA Alçaltıcı Tip Dönüştürücü Devresinin TS-EN 61000-3-2 Standardına Uyumlu Hale Getirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 653-659.

Öz

Bu çalışma kapsamında günümüzdeki bir çok elektronik cihazın enerji kaynağı olarak kullandığı doğru akım - doğru akım alçaltıcı dönüştürücü devresi TS-EN 61000-3-2 standardının gereklilikleri dikkate alınarak incelenmiştir. İlgili TS-EN standardı faz başına cihaz giriş akımı 16 amperden küçük olan cihazlar için harmonik akım sınır değerlerini tanımlar. Çalışmada, DA/DA alçaltıcı dönüştürücülerin şebekede oluşturduğu harmoniklerin TS-EN 61000-3-2 standardına uygun hale getirilecek şekilde azaltılması amaçlanmıştır. Bir DA/DA alçaltıcı dönüştürücünün şebekeye olan etkisinin ilgili TS-EN standardı kapsamında incelenebilmesi için DA/DA alçaltıcı dönüştürücü ve şebeke arasına bir köprü diyotlu AA/DA dönüştürücü eklenmiştir. Ayrıca şebekenin elektrik devre modeli için 0.1Ω direnç ve 2mH endüktans alternatif akım kaynağına seri olarak bağlanmıştır. Kesikli akım çekerek şebekede istenmeyen harmoniklere neden olan DA/DA dönüştürücülerin bu etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla çeşitli süzgeç devreleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, alternatif akım kaynağında oluşan harmoniklerin akım kaynağına zarar vermesini önlemek ve elektromanyetik girişimleri ilgili TS-EN standardına uygun olarak azaltmak amacıyla alternatif akım kaynağı ile doğrultmaç devresi arasına seri bir endüktans eklenmiştir. Alçak geçiren süzgeç görevi yapan seri endüktansın farklı değerleri için devre benzetimi ve analizleri Matlab-Simulink programında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, seri endüktansın 2 mH ile 17 mH aralığındaki farklı değerleri için yapılan analiz sonuçları sunulmuştur ve ilgili TS-EN standardının gereklerini sağlayan filtre değeri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: DA/DA Alçaltıcı Dönüştürücü, Elektromanyetik Uyumluluk, Güç Elektroniği.

DC/DC Buck Converter Compatible With TS-EN 61000-3-2 Standard

Abstract

Within the scope of this study, the investigation of the direct current-direct current buck converter, which is used as an energy source for many electronic devices today, examined according to TS-EN 61000-3-2 standard. The standard defines harmonic current limit values for devices with device input current less than 16 Amps per phase. In the study, it is aimed to reduce the source harmonics of DC/DC buck converters to perform necessities of TS-EN 61000-3-2 standard. Examine the effect of buck converter on the source, AC/DC converter was added between the buck converter and the source. For electrical circuit model of the source, 0.1Ω resistor and 2mH inductance are added to the circuit. Various filter circuits are used to reduce or eliminate the electromagnetic interference effects of DC/DC converters. Filter added between the source and the converter in order to prevent the harmonics occurring in the source from damaging the current source and to reduce electromagnetic interferences in accordance with standard. Circuit analysis for different values of series inductance acting as a low-pass filter were carried out in Matlab-Simulink. In the study, analysis results for series inductance values between 2-17 mH are presented and the value of inductance providing necessities of standard is determined.

Keywords: DC/DC Buck Converter, Electromagnetic Compatibility, Power Electronics.

* Corresponding Author: aysenurozer7058@gmail.com

1. Giriş

Elektrik şebekelerinden alternatif akım dağıtımını yapılmasına rağmen günümüzdeki bir çok elektronik cihaz doğru akımla çalışmaktadır ve bu nedenle dönüştürücülere ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda DA/DA dönüştürücü devreleri ile elektrik enerjisi kontrol altına alınmakta ve istenen çıkış gerilimi seviyesine uygun tasarımlar gerçekleştirilmektedir. DA/DA dönüştürücülerin temel kullanım alanı, devrenin girişindeki doğru akım ve gerilimi devrenin çıkışına bağlanacak olan sistemin beslemesini sağlayacak genlik seviyesine taşımaktır. Proje kapsamında tasarımı hedeflenen anahtarlamalı dönüştürücü alçaltıcı tiptedir. Alçaltıcı tip dönüştürücünün temel özelliği, girişine uygulanan yüksek değerdeki gerilimin devrenin çıkışında daha düşük olarak elde edilmesidir.

Temel olarak alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücüler; DA kaynağı, diyot, transistör, kapasitör, indüktör ve yük direncinden oluşmaktadır. Anahtarlama elemanı olarak kullanılan transistörün devreden kesikli akım çekmesinden kaynaklanan etkileri, devre girişindeki harmoniklerdir. Harmoniklerin devrede bulunan kaynağa ve elektrik sistemine bozucu etki oluşturması kontrol altına alınması gerektiğinin bir göstergesidir. Harmoniklerin incelenmesi için alçaltıcı DA/DA dönüştürücünün girişine AA/DA dönüştürücü devresi eklenmiştir. Tasarlanan devrelerin elektromanyetik uyumluluğunun test edilmesi amacıyla besleme kaynağına aktarılan harmonik akımların TS-EN 61000-3-2 standardının sınır değerlerinin altında olması beklenmektedir. İlgili standart faz başına cihaz giriş akımı 16 Amper dahil ve 16 Ampere kadar olan dört sınıfa ait cihazları kapsamaktadır. Sınıf A dengeli 3fazlı cihaz, evde kullanılan aletler, akkor lambalar için alçaltıcılar, taşınabilir olmayan aletleri kapsamaktadır; Sınıf B taşınabilir cihazlar, profesyonel olmayan ark kaynak cihazları; Sınıf C aydınlatma cihazları; Sınıf D ise kişisel bilgisayar ve ekranları, televizyon uydu alıcıları, kompresör motoru kontrolü için değişken hızlı sürücülü buzdolapları ve dondurucu cihazları kapsamaktadır. Ayrıca Sınıf D cihazlarının gücü 600 Watt'a eşit ya da daha düşük olmalıdır. 600 Watt'tan daha düşük güçle çalışan ve devre akımının 16 Amper'den daha düşük olması nedeniyle ilgili devrenin, TS-EN 61000-3-2 standardında belirtildiği üzere Sınıf D grubuna ait olduğu tespit edilmiştir. İlgili standart elektromanyetik uyumluluk standardıdır, temel harmonik dışındaki bazı harmoniklerin Sınıf D grubunun sınır değerlerinin altında olması gerekmektedir. Bu sınır şartlarını sağlayan cihazlar ilgili standarda göre elektromanyetik uyumlu olarak adlandırılmaktadır. Bir cihazın elektromanyetik uyumlu olabilmesi için hem çevredeki cihazlara bozucu etkilerinin olmaması hem de çevredeki cihazların bozucu etkilerine karşı alınan olmaması gerekmektedir. Bu devrenin harmonik etkilerinden kaynaklanan iletim yolu elektromanyetik girişiminin önlenmesi için devrenin girişine alçak geçiren süzgeç yapısı eklenmiştir. Temel olarak süzgeç yapısı devreye seri olarak bağlanan indüktörden oluşmaktadır. Endüktansın değerindeki değişimlerin harmoniklerdeki etkileri incelenmiş ve ilgili standartta belirtilen harmonik değerlerinin altında

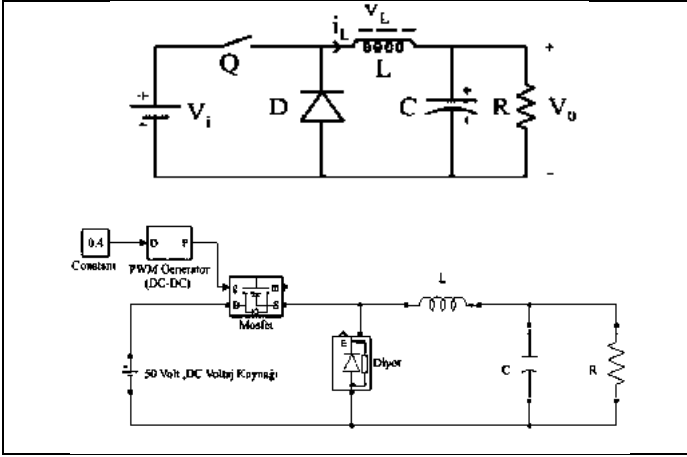
tutulması sağlanmıştır. Sonraki bölümlerde alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücülerin teorik alt yapısından, temel yapıdaki bir dönüştürücü devresinin ve harmonik ölçümü için tasarlanan devrenin analizlerinden, ilgili standardın Sınıf D harmonik akımlar ile ilgili sınır değerlerini sağlaması için devreye eklenen süzgeç yapısından ve ilgili TS-EN 61000-3-2 standardının harmonikler için sınır değerlerinin devrede oluşan harmoniklerle kıyaslarından bahsedilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Anahtarlamalı alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücü devreleri sabit ya da ayarlanabilir çıkış DA gerilimi üretmek amaçlı kullanılmaktadır. Anahtarlama elemanı transistör olan gerilim kaynaklarının doğrusal yapıda olanlara göre üstünlükleri vardır. Bu üstünlükler, anahtarlama elemanlarının darbe genişlik modülasyonu (PWM) ile kontrol edilebilmesinden ve yüksek frekanslarda çalışabilmesinden kaynaklanan yüksek verim, yüksek güç yoğunluğu ve hızlı geçiş cevabıdır. Anahtarlama elemanı bulunduran DA/DA çeviriciler temel olarak seri olarak bağlanan endüktansın enerji aktarımına bağlı olarak çalışmaktadır. Anahtarlama elemanı olarak kullanılan transistörler, güç kaynağından kesikli akım çekip enerji depolama özellikleri bulunan endüktans ve kapasitans aracılığı ile çıkış yüküne enerji aktarırlar. Transistör iletimde iken endüktansta depolanan enerji diyot iletimde olduğunda çıkış yüküne aktarılmaktadır. Doğrusal güç kaynaklarına göre üstünlükleri dolayısıyla anahtarlamalı devreler çokça tercih edilmektedir. Endüstrideki ihtiyaçlara göre daha yüksek verim, yüksek güç yoğunluğu istendiği durumlar için frekans yükseltilerek bu kazançlar sağlanabilirken frekansın yükselmesi anahtarlama kayıplarına ve elektromanyetik girişime neden olmaktadır. Oluşabilecek elektromanyetik girişim gürültüleri kontrol yöntemleri ve yumuşak anahtarlama teknikleriyle önlenilmektedir.

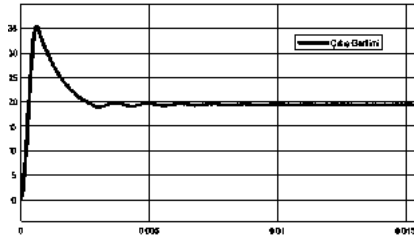
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tasarım aşamasında ilk olarak kaynaktan alınan bir devre ile alçaltıcı tip DA/DA devresi Matlab-Simulink programında oluşturulmuş, daha sonra bu devre analiz edildiğinde istendiği gibi girişine uygulanan 50 Volt gerilimini çıkışında 20 Volt değerine düşürebildiği gözlemlenmiştir. Tüm devre elemanları program kütüphanesinde sırasıyla Simscape, Power Systems alt kütüphanesinde bulunan Specialized Technology kütüphanesindeki devre elemanları kullanılarak oluşturulmuştur. Temel yapıdaki alçaltıcı dönüştürücü devre Şekil 1'de gösterildiği gibi; DA gerilim kaynağı, transistör, diyot, endüktans, kapasitans ve yük geriliminden oluşmaktadır. Transistör elemanı örnekleme zamanı 5µs olacak biçimde ayrık zamanlı powergui tanımlanmış, transistörün kapı(gate) girişine darbe üretici eklenerek beslemesi sağlanmıştır. Transistörün anahtarlama 20 KHz frekansında ve darbe genişlik modülatörünün % 40 doluluk oranıyla çalışması için darbe üreticinin darbe genişlik oranı 0.4 olarak girilmiştir. Devrede kullanılan elemanların değerleri; güç kaynağı gerilimi 50 Volt, transistör FET direnci 0.1 Ω, endüktans 400 µH, kapasitans 100 µF, yük direnci 20 Ω'dur.



Şekil 1. (a) Temel yapıdaki alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücü devresi, (b) DA/DA dönüştürücü devresi Matlab-Simulink benzetimi

Temel yapıdaki alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücü devresi Şekil 1(a) ve bu devrenin Matlab Simulink programında benzetimi Şekil 1(b)'de gösterilmiştir. Devre analiz edildiğinde çıkış yük direnci üzerinde görülen gerilim grafiği Şekil 2'de gösterildiği gibi devrenin çalışmaya başladığı zamandan 0.01 saniye sonra 20 volt değerinde sabitlenmiştir. Çıkış direnci 20Ω ve çıkış gerilimi 20 volt olduğundan dolayı yük direncinin üzerinden geçen akım 1 amperdir.



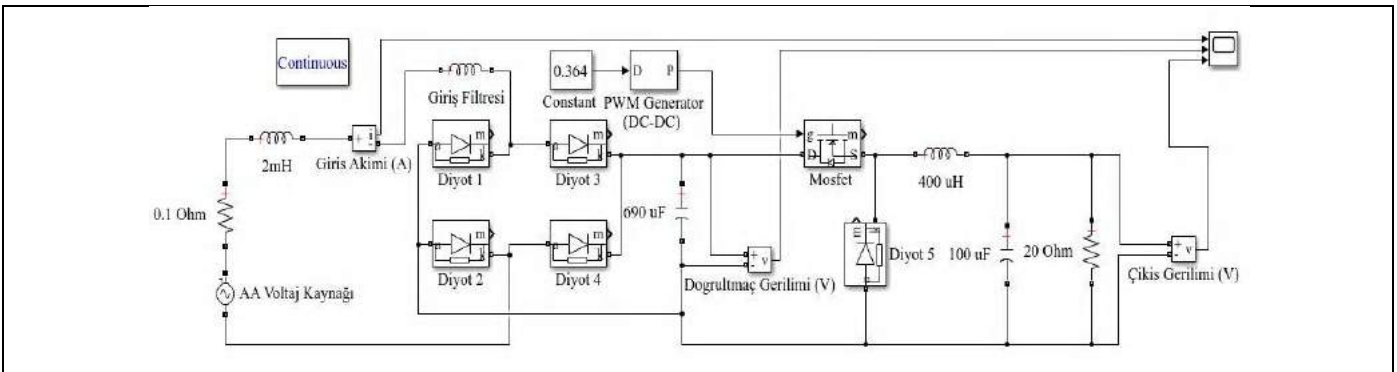
Şekil 2. Yük direnci uçları arasında ölçülen gerilim grafiği

Devrenin alçaltıcı dönüştürücü devresinin istenildiği gibi çalıştığı analiz edildikten sonra projenin asıl çalışılma amacı olan harmonik incelenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu tasarım aşamasında Şekil 1'de gösterilen devrenin DA güç kaynağı çıkartılarak yerine AA/DA dönüştürücü devresi eklenmiştir, bu devre temel olarak alternatif akım üreten güç kaynağından, güç kaynağının iç direncinden, seri bağlı bir

endüktans ve tam doğrultucu olarak görev yapan köprü diyottan oluşmaktadır. AA/DA ve DA/DA dönüştürücü devrelerinin arasında paralel bağlı bir kapasitans bulunmaktadır. Şekil 3'te gösterildiği gibi oluşturulan devredeki AA/DA dönüştürücü devresindeki elemanların değerleri; gerilim kaynağı şebeke sinyalini temsil etmektedir bu nedenle 50 Hz frekansında, tepe değeri 324 Volt olan bir sinüzoidal işaret üretmektedir. Gerilim kaynağı tarafında bir transformatörün elektrik devre modeli için seri direnç ve endüktans AC kaynak ve doğrultmaç arasına eklenmiştir. Seri kaynak direnci 0.1Ω, seri endüktans 2 mH'dir.

Doğrulma amaçlı kullanılan yapıda transformatör, diyot ve kapasitans bulunmaktadır. Tam dalga doğrultucu yapısının çıkışında dalgalanmaları azaltmak ve daha kararlı DA elde edebilmek için süzgeçleme amaçlı kullanılan paralel kapasitans değeri 690 µFolarak seçilmiştir.

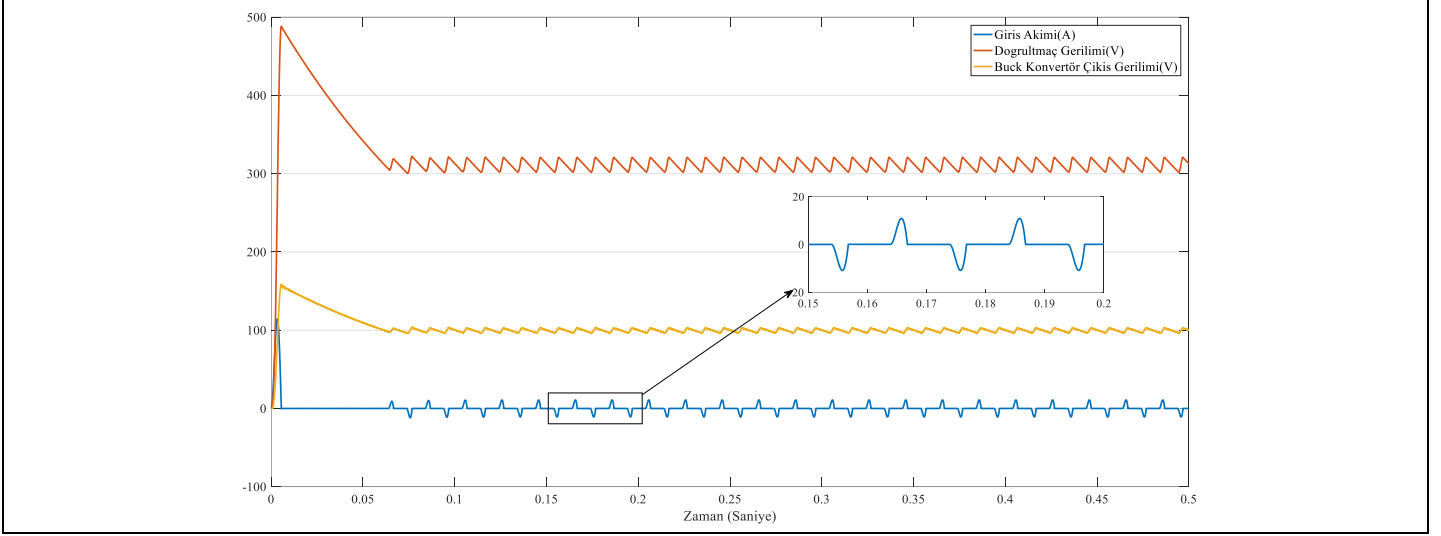
Devrenin alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücü kısmında ise transistör, diyot, endüktans, kapasitans ve yük direnci bulunmaktadır. Powergui sürekli zaman olarak ayarlandığından transistörün kapı ucuna gönderilmesi gereken işaret darbe genişlik modülasyonu (PWM) üretici ile sağlanmıştır. Girişe uygulanan AA 324 Volt şebeke sinyalinin çıkışa DA 100 Volt olarak aktarılması amaçlanmıştır. Çıkış geriliminin 100 Volt'ta sabitlenebilmesi için PWM doluluk boşluk oranı süzgeçsiz ve değişken süzgeçli devre yapıları için değişkenlik göstermiştir. Bu çalışmanın temel amacı kullanılan denetleyici yapısından bağımsız olarak alçaltıcı DA/DA dönüştürücüde devresinin şebekede neden olduğu harmonikleri TS-EN 61000-3-2 standardı çerçevesinde azaltmaktır. Bu nedenle alçaltıcı DA/DA devresinde herhangi bir denetleyici yapısı kullanılmamıştır. Süzgeçsiz devre için PWM doluluk oranı % 32.2 olarak belirlenmiş bu değer devre elemanı girişine eklenen sabit sayı değeri üreten devre elemanı ile sağlanmıştır. Şekil 3'te gösterildiği gibi giriş ve çıkışlardaki akım ve gerilim değerlerinin kıyaslanabilmesi için akımölçer ve gerilimölçer eklenmiştir. Giriş akımını gözlemleyebilmek için 2 mH endüktansının sağına akımölçer, doğrultmaç devresinin gerilimini gözlemleyebilmek için köprü doğrultucunun sağına ve çıkış gerilimi için yük direncinin sağına gerilimölçer yapıları eklenmiştir. Her bir ölçüm aleti daha sonra 3 girişli Scope'a bağlanmıştır.



Şekil 3. Harmonik ölçümü için tasarlanan dönüştürücü devre şeması

Şekil 3'teki verilen devrede giriş filtresi endüktans değeri sıfır olduğu durum (süzgeçsiz devre) için analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Analiz sonuçları şekilde, mavi renk ile giriş akımının, kırmızı ile doğrultmaç geriliminin, sarı ile buck konvertör çıkış geriliminin zamana göre değişimleri olarak verilmiştir. Kaynaktan kesikli akım çekildiği için şekilde mavi ile verilen giriş akımı dalga şeklinde süreksizlik meydana gelmektedir. Giriş akımının 0.15 ve 0.2 saniye arasındaki

zamana göre değişimi Şekil 4'te alt figürde detaylı olarak gösterilmektedir. Şebekeden çekilen bu kesikli akım hamoniklere neden olmaktadır. TS-EN 6100-3-2 standardı faz başına cihaz giriş akımı 16 Amperden küçük olan cihazlar için harmonik akım sınır değerlerini tanımlar ve piyasada kullanıma girecek cihazları sınırlar içinde kalmaya zorunlu kılar. Çalışmanın devamında oluşturulan devre ilgili standart gereklilikleri çerçevesinde incelenecektir.



Şekil 4. Akım ve gerilim değişimleri

Şekil 4'te görüldüğü gibi alçaltıcı dönüştürücü çıkış gerilimi 100 voltur ve gerilim grafiğinde dalgalılık bulunmaktadır, çıkış geriliminin yaptığı salımda en yüksek gerilim değeri 103.4 Volt, en düşük gerilim değeri 96.6 Volt'tur. Çıkıştaki bu dalgalılık oranı yüzde olarak Denklem 1 kullanılarak hesaplanır ve %6.5'ten daha az olması istenir. Denklem 1 kullanılarak süzgeçsiz devrenin dalgalılık değeri % 2.4 olarak hesaplanmıştır.

$$\% ripple = \frac{Dalgalanmanın\ rms(etkin)değeri}{İşaretin\ ortalama\ değeri} \times 100 \quad 1$$

Çalışmada bu noktadan itibaren şebekeden beslenen ve %32.2 doluluk oranına sahip bir PWM sinyal ile sürülen 100V çıkış gerilimine sahip alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücünün şebekede oluşturduğu harmonikleri belirlemek ve TS-EN6100-3-2 standardının gereklerini sağlayıp sağlamadığını saptamak amacıyla devrenin giriş akım sinyali için harmonik analizi yapılmıştır. TS-EN 61000-3-2 elektromanyetik uyumluluk standardıdır, elektrik şebekesine bağlanan cihazların elektrik kaynağında neden oldukları harmonik akımlarının sınırlarını tanımlar. İlgili standart ses cihazları ve akkor lamba kısıcılarını kapsayan Sınıf A, taşınabilir aletler ve ark kaynak cihazlarını kapsayan Sınıf B, aydınlatma cihazlarını kapsayan Sınıf C ve son olarak kişisel bilgisayar, bilgisayar ekranları, televizyon alıcıları, kompresör motoru kontrolü için değişken hızlı sürücülü buzdolabı veya dondurucuları kapsayan Sınıf D olarak gruplandırılmaktadır. Ayrıca Sınıf D gücü 600 Watt'a eşit ya da daha düşük, faz başına giriş akımı 16 Amper'e kadar olan elektronik ve elektrikli cihazları kapsamaktadır. Bilgisayar programında tasarımı ve analizi gerçekleştirilen devrenin Sınıf D'ye ait olduğu, harmonik akım ölçümlerinin ilgili standardın

ilgili sınıfına ait olan sınır değerlerini sağlaması gerekmektedir. Şekil 5'te TS-EN 61000-3-2 standardına ait Sınıf D cihazları için belirlenmiş olan harmonik değerleri verilmiştir.

Harmonik mertbe	Watt başına azami izin verilebilen harmonik akım	Azami izin verilebilen harmonik akım
n	mAV	A
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
8	0,5	0,40
11	0,35	0,33
13 ≤ n ≤ 39	3,85	Çizelge 1'e bakılmaktadır.
(sadece tek harmonikler)	n	

Şekil 5. TS-EN 61000-3-2 standardı Sınıf D harmonik akım sınır değerleri

Alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücü devresinin şebekede neden olduğu bozulmaları incelemek için giriş akım sinyalinin Fourier analizi yapılmıştır. Bu işlem powergui'nin içinde bulunan FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) analizi aracı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4'te verilen giriş akımı sinyalinin 0.1 ile 0.2 saniye aralığındaki beş periyodu için FFT analizi elde edilmiştir. Bu incelemeye göre TS-EN 61000-3-2 standardının Sınıf D grubuna ait olan cihazlar için belirlediği harmonik sınır değerleri ile devrede oluşan harmonikler karşılaştırıldığında, standardın Şekil 5'te sunulan 3. Harmonik için 2.3 Amper, 5. Harmonik için 1.14 Amper, 7 Harmonik için 0.77 Amper sınır değerlerine göre kıyaslandığında tasarlanan devrede 3. Harmonik 3.02 Amper, 5. Harmonik 2.3 Amper, 7. Harmonik değerinin 1.48 Amper olarak elde edilmiştir. İlgili harmonikler sırayla karşılaştırıldığında devredeki harmoniklerin standardın belirlediği sınırların üzerinde değerlerde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ilgili standarda uyabilmek için oluşturulan devrenin harmoniklerinin azaltılması zorunludur. Kesikli akım çekerek şebekede istenmeyen harmoniklere neden olan DA/DA dönüştürücülerin bu etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla çeşitli

süzgeç devreleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, devrenin güç kaynağına kesikli akım çekilmesinden kaynaklı gönderilen istenmeyen harmonikleri bastırmak amacıyla devrede kaynak ile doğrultmaç devresi arasına seri bir endüktans eklenmiştir. Giriş süzgeci olarak kullanılan bu seri endüktansın farklı değerleri için devrenin tekrar analizleri gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar sunulmuştur. Girişe bağlanan endüktans akımda faz kaymasına neden olduğu için devre girişinden fazladan reaktif güce neden olur. İlgili reaktif güç nedeniyle kaynaktan ki görünür gücü büyütür. Bu da akımın artmasına neden olur. Özellikle yüksek akım değerleri için akım artışı iletim yollarında kaybın artmasına neden olur. İlgili gerekçelerden dolayı standardı sağlayacak en küçük değerli endüktans saptamak önemlidir. Gereğinden büyük seçilecek bir endüktans kaynak tarafında görünür gücün artmasına, maliyet artışına ve endüktansın fiziksel boyutunun da artması nedeniyle devrenin fiziksel boyutlarının büyümesine neden olacaktır. Ek olarak analizlerde, değişen her bir giriş endüktansı için devrenin çıkışında meydana gelecek değişimler DA/DA dönüştürücü sürücüsü PWM doluluk oranı değiştirilerek ortadan kaldırılmış ve çıkışta elde edilen yeni dalgalılık oranları hesaplanmıştır. Giriş süzgecinin harmonikleri azaltarak sağladığı diğer bir kazanç ise toplam harmonik bozulmadaki (THD) azalmadır. Giriş filtresinin her bir farklı empedans değeri için THD değerleri elde edilmiştir. Toplam harmonik bozulma

Denklemlerde gösterildiği gibi harmoniklerin temel harmoniğe oranlarının karelerinin toplamının karekökü ile hesaplanmaktadır.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^n \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \quad (2)$$

İlgili denklemlerde yer alan h harmoniğin numarasını ve n ise hesaplamada kullanılacak harmonik sayısını göstermektedir. TS-EN 61000-3-2 standardının tek harmonikleri için sınır değerleri, süzgeçsiz devre ve farklı endüktans değerleri için süzgeçli devre tek harmoniklerin akım değerleri, toplam harmonik bozulma (THD), çıkış gerilimindeki en yüksek, en düşük değerler ve çıkış geriliminin dalgalılık oranı Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca, fitesiz ve farklı endüktans değerlerine sahip süzgeçli devre yapısının çıkış geriliminin 100 Volt değerinde kalmasını sağlayan PWM doluluk oranları tabloda sunulmuştur. Değişen endüktans filtrelerine göre PWM oranı, harmoniklerin genlikleri, THD değeri ve çıkış geriliminin salınımı sonucu maksimum ve minimum genlik değerleri, dolayısıyla dalgalılık yüzdesi değişkenlik göstermektedir.

Tablo 1 Süzgeç değişiminin harmoniklerdeki, toplam harmonik bozulmadaki ve çıkış gerilimindeki etkisi

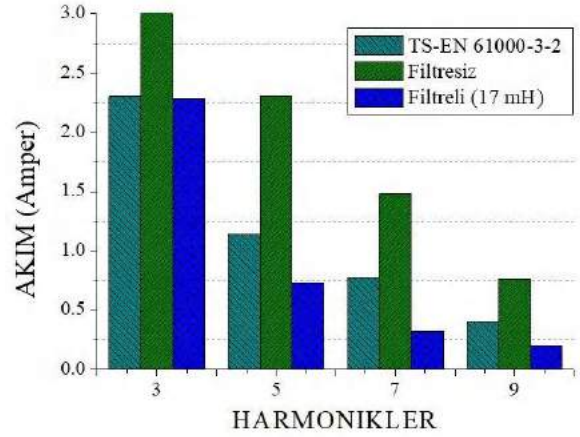
Standart ve Filtreler	Duty Cycle	3. Harmonik	5. Harmonik	7. Harmonik	9. Harmonik	THD (%)	Maksimum Gerilim(V)	Minimum Gerilim (V)	Dalgalılık (%)
TS-EN 61000-3-2 Standardı		2.3	1.14	0.77	0.4	15	-	-	-
Süzgeçsiz	0.322	3.02	2.3	1.48	0.76	122.0	103.4	96.6	2.4
2 mH	0.33	2.88	1.91	0.95	0.35	104.0	103.3	96.7	2.33
5 mH	0.335	2.7	1.51	0.55	0.29	90.45	102.8	96.8	2.12
10 mH	0.351	2.52	1.09	0.33	0.29	77.17	103.4	97.5	2.07
15mH	0.36	2.34	0.81	0.31	0.23	68.92	103	97.1	2.07
16 mH	0.362	2.31	0.77	0.31	0.21	67.54	103	97.1	2.07
17 mH	0.364	2.28	0.73	0.32	0.2	66.22	103.1	97.2	2.07

Kaynaktan kesikli akım çekilmesinden, endüktans ve kapasitansların enerji depolama özelliklerinden kaynaklanan etkiler çıkış gerilimi ve çıkıştaki yük direnci üzerinden geçen akımda salınımlara ve girişteki gerilim kaynağında harmoniklere sebep olmaktadır. Bu harmonikler giriş süzgeci olarak kullanılan endüktans değeri 2 mH değerinden 17 mH değerine kadar yükseltilerek ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Yukarıda bahsedildiği gibi Şekil 4’te akım-gerilim sinyalleri sunulan süzgeçsiz devrenin analizi ilgili standart değerleri ile karşılaştırıldığında sınır değerleri aştığı saptanmıştır. Ayrıca süzgeçsiz devre için THD %122.05 olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak kesikli akım çekmesinden kaynaklanan harmoniklerin devrenin gerilim kaynağına bozucu etkileri olduğundan ve bu harmoniklerin standardın gerekliliklerini karşılamamasından ilgili sınır değerlerine düşürülmesi zorunludur. Devreye süzme amacıyla bağlanan seri endüktans değerleri sırasıyla 2 mH, 5 mH, 10 mH, 15 mH, 16 mH ve 17 mH dir. Her bir değer için giriş akımı sinyalinin Fourier analizi yapılarak standardın tek harmonik sınırlarını karşılayıp karşılamadıkları incelenmiştir. Analizler sonucunda ilgili standardın sınır değerlerini ilk karşılayan süzgeç değeri 17 mH olarak elde edilmiştir. Endüktans değerinin yükselmesine bağlı

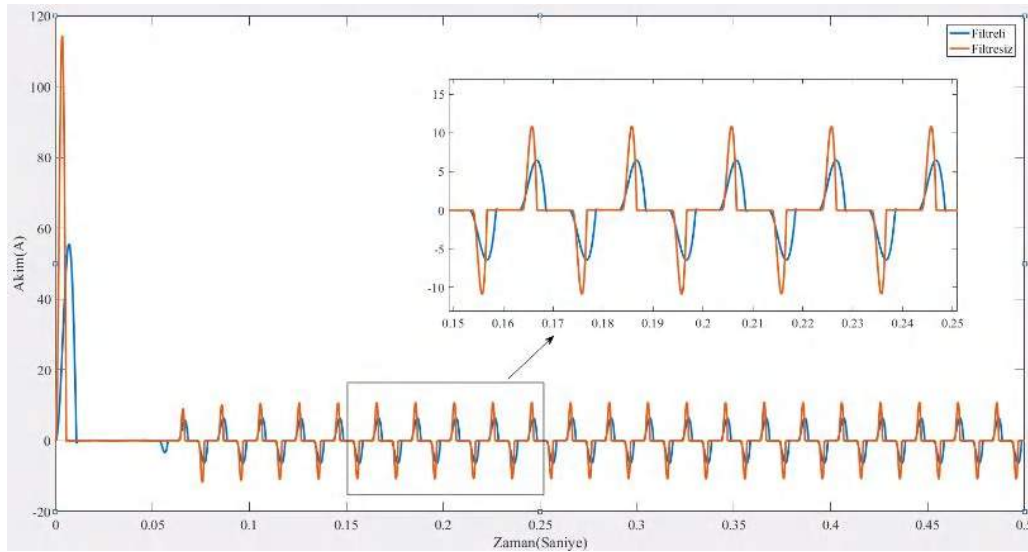
olarak THD'nin de düştüğü tablodan verilen sonuçlardan açıkça görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda endüktans değerinin artmasına bağlı olarak, devreden kesikli akım çekilmesinden kaynaklanan ve devrenin kaynağına bozucu etkileri olan harmoniklerin düştüğü gözlemlenmiş olmasına rağmen alçak geçiren süzgeç görevi gören endüktansın değerinin diğer belirleyici unsuru da endüktif reaktanstır. Süzgeç olarak kullanılan endüktans değeri yükseldikçe THD ve tek sayıdaki harmonikler düşmesine rağmen endüktif reaktans ve kaynaktaki görünür güç artmaktadır. Bu da akımın artmasına neden olur. Artan akım iletim yollarında kaybın artması sonucunu doğurur. Bu sebeple yapılan analizlerle elde edilen ve Tablo 1'de gösterilen veriler sonucunda ilgili standardın akım harmonikleri sınır değerlerini sağlayan en küçük endüktans değeri olan 17 mH seçilmiştir. TS-EN 61000-3-2 standardının Sınıf D grubuna ait olan cihazlar için belirlediği harmonik sınır değerleri ile alçak geçiren süzgeç yapısı eklenmiş devrede oluşan harmonikler karşılaştırıldığında, standardın 3. Harmonik için 2.3 Amper, 5. Harmonik için 1.14 Amper, 7 Harmonik için 0.77 Amper, 9. Harmonik için 0.4 Amper sınırlarında olduğu ve tasarlanan devredeki 3. Harmonik 2.28 Amper, 5. Harmonik 0.73 Amper, 7. Harmonik 0.32 Amper ve 9. Harmonik değerinin 0.2 Amper olduğu gözlemlenmiştir. İlgili harmonikler sırasıyla karşılaştırıldığında devredeki harmoniklerin standardın sınırların altında değerlerde olduğu ve ilgili standardın gerekliliklerini sağladığı belirlenmiştir. Şekil 6'da gösterildiği gibi süzme işleminde en uygun değer olarak belirlenen 17 mH endüktansı devreye alçak geçiren süzgeç olarak eklendiğinde oluşan

harmonikler, ilgili standart ve süzgeçsiz devre yapısı ile karşılaştırılmıştır. İlk sütun ilgili standardı göstermektedir. İkinci sütun süzgeçsiz devrede oluşan harmonikleri gösterirken üçüncü sütun süzgeçli devreyi temsil etmektedir.



Şekil 6. Standart sınır değerleri ile süzgeçli ve süzgeçsiz devrelerin harmoniklerinin karşılaştırılması

Tüm değerler kıyaslandığında süzgeçsiz devrenin harmoniklerinin ilgili standart sınır değerlerini sağlamadığı, 17 mH değerinde giriş süzgeci olarak kullanılacak bir endüktans ile TS-EN 61000-3-2 standardının gerektirdiği sınır koşulların sağladığı gösterilmiştir. Süzgeçsiz ve süzgeçli devre durumunda giriş akımının nasıl değiştiği Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Süzgeçsiz ve süzgeç uygulanmış devrelerin giriş akımlarının zamana göre değişimi

Şekilde kırmızı renk ile verilen sinyal süzgeçsiz devrenin giriş akımının zamana göre değişimini, mavi renk ile verilen sinyal ise endüktans 17 mH olan alçak geçiren süzgeç uygulanmış devrenin giriş akımının zamana göre değişimini göstermektedir. Süzgeçsiz devrenin giriş akımı ile endüktans değeri 17 mH olan alçak geçiren süzgeçli devrenin giriş akımları karşılaştırıldığında akımın maksimum değerinde düşüş olduğu görülmektedir. İki sinyalin etkin değerleri yaklaşık olarak eşit olmakla birlikte süzgeç kullanılması durumunda akımın maksimum değerinde düşme ve kaynaktan zaman ekseninde daha uzun süreye yayılmış bir akım çekilmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak kesikli akım akışı zamana yayılarak yumuşatılmıştır. Şekil 7 alt figürde

0.15 ile 0.25 saniye aralığı daha detaylı incelendiğinde süzgeçsiz devrenin giriş akımının daha keskin değişiminin olduğu, süzgeç uygulanmış devrenin giriş akımının değişiminin zamana daha çok yayıldığı görülmektedir. İlgili standardın sınır değerleri 3. Harmonik 2.3 Amper, 5. Harmonik 1.14 Amper, 7. Harmonik 0.77 Amper'dir. İstenmeyen harmoniklerin süzülmesi amacıyla devreye seri olarak bağlanan alçak geçiren süzgeç görevindeki 17 mH endüktans ile devredeki 3. Harmonik 2.28 Amper, 5. Harmonik 0.73 Amper, 7. Harmonik 0.32 Amper olarak elde edilmiş ve ilgili standardın sınır değerlerini sağladığı gösterilmiştir.

Analizlerin sonucunda devreye eklenen seri endüktansın alçak geçiren süzgeç görevi gördüğü, ilgili standardın sınır değerlerini sağladığı sonucu elde edilmiştir. Devreye eklenen giriş süzgeç yapısının endüktans değeri yükseltildikçe harmoniklerin genlik değerlerine ek olarak THD değerinin de düştüğü gözlemlenmiştir. Endüktans akımda faz kaymasına neden olduğu için reaktif güce neden olur. Neden olunan reaktif güç kaynak tarafında ki görünür gücü büyütür. Bu da akımın artmasına neden olur. Artan akım ise iletim yollarında kaybın artması sonucunu doğurur. Dolayısıyla standardın sınır değerlerini sağlayan en küçük endüktans değerinin saptanması kaynak tarafındaki görünür gücün, maliyetin ve fiziksel alan kaybının azaltılmasını için önemlidir.

3.1. Tartışma

Bu çalışma kapsamında DA/DA Alçaltıcı tip dönüştürücü devresinin TS-EN 61000-3-2 standardının sınır koşulları altında çalışabilmesi ve dolayısıyla elektromanyetik uyumlu olabilmesi için süzgeç yapısıyla güç kaynağından kesikli akım çekilmesinden kaynaklanan istenmeyen harmonikler bastırılmıştır. Çeşitli filtre değerleri denenmiş en uygun değer saptanmış ve elektromanyetik uyumlu olmayan filtresiz devre, filtre uygulamasıyla elektromanyetik uyumlu halde getirilmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada alçaltıcı tip DA/DA dönüştürücünün harmonik akım yayınımları için sınır değerleri (faz başına cihaz giriş akımı < 16 A) tanımlayan TS-EN 61000-3-2 standardına uyumlu hale getirilmesi için tasarım ve analiz gerçekleştirilmiştir. İlgili standart iletim yolu girişimleri belirli sınırlar içerisinde tutarak şebekeyi korumayı amaçlamaktadır. Böylelikle ilgili sınıftaki cihazların neden olduğu akım harmoniklerinin devrenin besleme kaynağında oluşturabilecekleri bozucu etkilerin ortadan kalkmasını sağlamaktadır. Çalışmada öncelikle DA/DA dönüştürücü analizi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında DA/DA dönüştürücünün şebekeye olan bozucu etkilerini inceleyebilmek için DC gerilim kaynağı çıkartılıp yerine AA gerilim kaynağı ve AA/DA dönüştürücü yapısı eklenmiştir. Hedeflenen çalışma devrenin girişine uygulanan 324 Volt AA şebeke sinyalinin devrenin çıkışına 100 Volt DA olarak aktarabilmektir. Çıkış geriliminin 100 Volt değerinde sabitlenebilmesi için süzgeçsiz ve değişken süzgeçli devrelerde PWM üreticinin doluluk oranı değiştirilmiştir. Süzgeçsiz haliyle ilgili standardın Sınıf D harmonik akım sınır değerlerini sağlamayan alçaltıcı tip AA/DA dönüştürücü devre yapısına süzme amacıyla seri endüktans eklenmiştir. 2 mH ile 17 mH arasında farklı endüktans değeri denenmiş en uygun değer seçilerek tasarım son halini almıştır. En uygun süzgeç değerinin seçilmesinde tek sayıdaki harmoniklerin genlik değerlerinin TS-EN 61000-3-2 standardının gerektirdiği sınır değerlerin altında kalması zorunluluğu dikkate alınmıştır. Alçak geçiren süzgeç yapısının endüktans değerinin seçilmesinde harmoniklerin ilgili standart sınır değerlerini sağlamasının yanı sıra endüktif reaktanstan kaynaklanan empedans etkisi de dikkate alınmıştır. Bu nedenle ilgili sınır değerlerini sağlayan en küçük değerli endüktans seçilmiştir. Tasarımlar sonucunda devreye seri olarak bağlanan 17 mH değerindeki endüktans ile ilgili standardın Sınıf D harmonik

akım sınır değerlerini sağlayan devre modeli elde edilmiştir. Çalışmada standardın gereklerini sağlayabilen alçak geçiren süzgecin en küçük endüktans değeri 17 mH olarak belirlenmiştir. Devrenin sinyallerinin süzgeç uygulanmadan önceki hali, alçak geçiren süzgeç eklenmiş hali ve ilgili standardın sınır değerleri karşılaştırıldığında süzgeç yapısı eklenmiş devrenin TS-EN 61000-3-2 elektromanyetik uyumluluk standardı kapsamındaki şebeke kaynağına bozucu etkisi bulunan harmoniklerin genliklerini bastırdığı, THD'yi düşürdüğü dolayısıyla standardın gerekliliklerini sağladığı gösterilmiştir.

5. Teşekkür

Değerli katkılarından dolayı Ersoy Kelebekler hocama teşekkürlerimi sunuyorum.

Kaynakça

- Asadi, F., & Abut, N.(2018). *Güç Elektroniği Devrelerinin Matlab/Simulink ile Simülasyonu* (1st ed.). Umuttepe Yayınları.
- Bodur, H. (2010). *Güç Elektroniği* (1st ed.). Birsen Yayınevi.
- Bogart, T.F., & Brown, J.W. (1997). *Experiments in Electronic Devices and Circuits* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Costa, F., & Laboure, E., & Revol, B. (2014). *Electromagnetic Compatibility in Power Electronics* (1st ed.).Wiley.
- International Electrotechnical Commission.(2002). *Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current up to and Including 16A Per Phase)*, (IEC Standard No.61000-3-2).
- Köseni, H., & Yıldız, A. B. (2019). Geri dönüşlü DC-DC dönüştürücünün genelleştirilmiş düğüm denklemleri ile analizi. *Politeknik Dergisi*, 22(1), 179-184.
- Patil, M. S., & Patil, S. P. (2010). Single-phase buck-type power factor corrector with lower harmonic contents in compliance with IEC 61000-3-2. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(11), 6122-6130.
- Ürgün, S., Erfidan, T., & Çoruh, N. (2008). DA-DA Buck Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2008)*, 358-361.
- Yıldız, A. B., & Sabuncu, B. Harmonics in Power Systems and Filter Applications. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 2(4), 117-122.



$\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ Üzerinde Aykırı Devirli Kodlar İçin Bazı Sonuçlar

Basri Çalışkan^{1*}

^{1*} Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0512-4208), bcalisikan@osmaniye.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010014)

ATIF/REFERENCE: Çalışkan, B. (2021). $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ Üzerinde Aykırı Devirli Kodlar İçin Bazı Sonuçlar. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 660-664.

Öz

Kodlama teorisinde, lineer kodların özel bir sınıfı olan devirli kodlar ile ilgili araştırmalar büyük ilgi görmektedir. Bu ilginin en önemli nedenlerinden bazıları devirli kodların zengin cebirsel özelliklere sahip olmaları, birçok uygulama alanlarının bulunması, kodlama ve kod çözmede kolaylık sağlamaları olarak sayılabilir. Devirli kodların sabit-devirli, parçalı devirli ve yarı burmalı devirli kodlar gibi genellemeleri bulunmaktadır. Bu genellemelerin çoğunda değişmeli yapılar üzerinde çalışılmıştır. Son zamanlarda devirli kodların değişmeli olmayan halkalardaki üreteç polinomları kullanılarak bir başka genellemesi (aykırı devirli kodlar) tanımlanmıştır. Aykırı polinom halkalarının cebirsel özellikleri nedeniyle, aykırı devirli kodlar optimal kod bulma açısından devirli kodlara göre daha avantajlıdır. Bu çalışmada, $u^2 = v^2 = uv = vu = 0$ olmak üzere $R = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ halkası üzerinde tanımlı aykırı devirli kodlar dikkate alınmış ve bazı sonuçlar elde edilmiştir. θ , R üzerinde bir otomorfizm olmak üzere $R[x, \theta]$ aykırı polinom halkaları kullanılarak, θ -devirli kodlar tanımlanmıştır. $R[x, \theta]$ daki herhangi bir elemanın merkez eleman olabilmesi için gerek ve yeter koşul verilmiştir. R halkasının elemanları için Gray ağırlığı ve R nin θ tarafından sabit bırakılan alt halkası R^θ tanımlanmıştır. Ayrıca bu kodların üreteç ve kontrol matrislerinin formu belirlenmiş ve bazı örnekler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lineer kod, Aykırı devirli kod, Gray dönüşümü.

Some Results For Skew Cyclic Codes Over $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$

Abstract

In coding theory, researches on cyclic codes, which are special class of linear codes, have attracted great attention. Some of the most important reasons for this interest are that cyclic codes have rich algebraic properties, have many application areas, and provide convenience in coding and decoding. There are many generalizations of cyclic codes such as consta-cyclic codes, quasi-cyclic codes and quasi-twisted codes. In most of these generalizations, cyclic codes have been studied in commutative settings. Recently, another generalization of cyclic codes, skew cyclic codes, has been defined by using generator polynomials in non commutative polynomial rings. Since skew polynomial rings have algebraic properties, skew cyclic codes have more advantages than the cyclic codes for finding optimal codes. In this study, the ring $R = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$, where $u^2 = v^2 = uv = vu = 0$ is considered and some results which are obtained for the skew cyclic codes defined over the ring R . Using the skew polynomial rings $R[x, \theta]$ where θ is an automorphism on R , θ -cyclic codes are defined. Necessary and sufficient conditions are given for any element in $R[x, \theta]$ to be the central element. The Gray weight for the elements of the ring R and the subring R^θ of R fixed by θ are defined. Also, generator and parity-check matrices of these codes are determined and given some examples.

Keywords: Linear cod, Skew cyclic code, Gray map.

* Sorumlu Yazar: bcalisikan@osmaniye.edu.tr

1. Giriş

Devirli kodlar, kodlama teorisindeki en önemli kod sınıfı olan lineer kodların bir alt sınıfıdır. Sonlu cisimler üzerindeki devirli kodlar üzerine birçok araştırma yapılmasına rağmen, Hammons ve ark. [1] de \mathbb{Z}_4 halkası üzerinde tanımlı lineer kod ailelerinin özel bir dönüşüm altındaki görüntülerinden Kerdock, Preparata gibi iyi hata düzeltme kabiliyetine sahip, lineer olmayan ikili (binary) kodlar elde etmişlerdir. Bu çalışma ile birlikte çeşitli halkalar üzerinde kod aileleri tanımlanması önem kazanmıştır [2],[3],[4].

Boucher ve ark. [5] de değişmeli olmayan halkalar kullanarak devirli kodların genellemesini yapmışlar, bu yeni kod ailesini aykırı devirli (skew cyclic) kodlar olarak adlandırmışlardır. Böylece devirli kodlar alanına yeni bir boyut kazandırmışlardır. Bu çalışmada, \mathbb{F}_q , q elemanlı bir cisim ve θ , \mathbb{F}_q üzerinde bir otomorfizm olmak üzere $\mathbb{F}_q[x, \theta]$ aykırı (skew) polinom halkaları kullanılmıştır. $\mathbb{F}_q[x, \theta]$ halkasının en önemli özelliği çarpanlara ayrılışın tek türlü olmamasıdır. Bu özellik sayesinde devirli kodlara kıyasla daha fazla sayıda üreteç polinomu ve böylece aynı uzunluğa ve boyuta sahip daha fazla sayıda kod elde etmek mümkündür. Dolayısıyla aykırı devirli kodlar optimal kod elde etmesi açısından daha avantajlıdır. Boucher ve Ulmer [6] da aykırı devirli kodların dualleri üzerinde durmuşlar ve bir aykırı devirli kodun dualinin de aykırı devirli kod olduğunu göstermişlerdir.

Aykırı devirli kodlar farklı halkalar üzerinde de tanımlanmıştır. Özellikle Sharma ve Bhaintwal [7] de $u^2 = 1$ olmak üzere, $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4$ halkası üzerinde türetim ile aykırı devirli kodların bir sınıfını incelemişler ve çift tamsayı uzunluklu bir serbest aykırı devirli kodun üreteç ve kontrol matrislerini tanımlamışlardır. [8] nolu çalışmada, yazarlar $u^2 = v^2 = uv = vu = 0$ olmak üzere, $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4 + v\mathbb{Z}_4$ değişmeli halkası üzerindeki devirli ve sabit devirli kodları incelemişlerdir. Bu çalışmada, bu kod sınıflarının üreteç kümeleri araştırılmış ve devirli kodlar için minimum üreteç kümeleri belirlenmiştir. \mathbb{Z}_4 halkası ve onun genişlemeleri üzerine literatürde çok fazla çalışma bulunmasının yanında, \mathbb{Z}_8 halkası üzerindeki kodlar ile ilgili de bir çok çalışma bulunmaktadır [9],[10].

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan motive olunarak, bu makalede $u^2 = v^2 = uv = vu = 0$, $R = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$, ve θ , R üzerinde bir otomorfizm olmak üzere $R[x, \theta]$ aykırı polinom halkaları üzerindeki θ -devirli kodlar tanımlanmış, bu kodların bazı cebirsel özellikleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ Halkası ve Gray Dönüşümü

$u^2 = v^2 = uv = vu = 0$ olmak üzere $R = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ değişmeli, karakteristiği 8 olan ve 512 elemanlı bir halkadır. R halkası $\frac{\mathbb{Z}_8[u]}{\langle u^2v^2, uv, vu \rangle}$ bölüm halkasına izomorftur. R halkasının elemanları

$$R = \{a + ub + vc | a, b, c \in \mathbb{Z}_8\}$$

$d = a + ub + vc \in R$ şeklinde tek türlü yazılır. $a + ub + vc$ elemanı R de birim eleman olsun. Bu durumda

\mathbb{Z}_4 halkası üzerinde tanımlı Gray dönüşümü, $\phi: \mathbb{Z}_4 \rightarrow \mathbb{Z}_4^2$ olmak üzere, $\phi(0) = (00)$, $\phi(1) = (01)$, $\phi(2) = (11)$ ve $\phi(3) = (10)$ biçiminde tanımlıdır [1].

$$(a + ub + vc)(a + u\beta + v\gamma) = 1$$

olacak şekilde, en az bir $a + u\beta + v\gamma \in R$ elemanı vardır. Buradan, $aa = 1$ olduğu elde edilir. Bu ise, $a \in \mathbb{Z}_8$ nin birim olmasını gerektirir.

Tersine, $a \in \mathbb{Z}_8$ birim olsun. Bu durumda

$$(a + ub + vc)(a^{-1} - a^{-1}uba^{-1} - a^{-1}vca^{-1}) = 1$$

olup, $a + ub + vc \in R$ elemanının birim olduğu elde edilir. Böylece, R nin birimleri aşağıda verilen lemma ile karakterize edilebilir.

Lemma 2.1. R nin birimlerinin kümesi

$$\{a' + ub + vc | a', \mathbb{Z}_8 \text{ de birim}, b, c \in \mathbb{Z}_8\}$$

dir.

R nin 256 tane birimi ve 256 tane de birim olmayan elemanı vardır. $\langle 2, u \rangle$ ve $\langle 2, v \rangle$ idealleri dikkate alınır, R nin \mathbb{Z}_8 in zincir olmayan bir genişlemesi olduğu görülür. Ayrıca, $\langle 2, u \rangle$ ideali tek bir eleman tarafından üretilmediği için R bir esas ideal halkası değildir. Son olarak, $\langle 2, u, v \rangle$ maksimal ideali ile R bir lokal Frobenius halkasıdır.

$\theta: R \rightarrow R$, $a, b, c \in \mathbb{Z}_8$ olmak üzere,

$$\theta(a + ub + vc) = a + vb + uc$$

şeklinde tanımlansın. $d = a + ub + vc$ ve $d' = a' + ub' + vc' \in R$ olsun.

$$\begin{aligned} \theta(d + d') &= \theta((a + ub + vc) + (a' + ub' + vc')) \\ &= \theta(a + a' + u(b + b') + v(c + c')) \\ &= a + a' + u(c + c') + v(b + b') \\ &= a + uc + vb + a' + uc' + vb' \\ &= \theta(d) + \theta(d') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta(dd') &= \theta((a + ub + vc)(a' + ub' + vc')) \\ &= \theta(aa' + u(ab' + ba') + v(ac' + ca')) \\ &= aa' + u(ac' + ca') + v(ab' + ba') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta(d)\theta(d') &= \theta(a + ub + vc)\theta(a' + ub' + vc') \\ &= (a + uc + vb)(a' + uc' + vb') \\ &= aa' + u(ac' + ca') + v(ab' + ba') \end{aligned}$$

elde edilir. Açıkça görülebilir ki θ , R halkasının aşikar olmayan bir otomorfizmdir. Ayrıca, her $d = a + ub + vc \in R$ için

$$\begin{aligned} \theta^2(a + ub + vc) &= \theta(\theta(a + ub + vc)) \\ &= \theta(a + uc + vb) \\ &= a + ub + vc \end{aligned}$$

olduğundan, $\theta^2(d) = d$ dir. Dolayısıyla θ nin mertebesi 2 dir.

Carlet, bu Gray dönüşümünü \mathbb{Z}_2^s üzerinde aşağıdaki gibi genelleştirmiştir [11].

$$\phi: \mathbb{Z}_2^s \rightarrow \mathbb{Z}_2^{2^{s-1}}$$

$$\phi(i) = \begin{cases} 0_{2^{s-1}-i} 1_i, & 0 \leq i \leq 2^{s-1} \\ 1_{2^{s-1}+i} + \phi(i - 2^{s-1}), & i > 2^{s-1} \end{cases}$$

Burada , 0_i bütün bileşenleri 0 olan i uzunluklu vektörü ve 1_i de bütün bileşenleri 1 olan i uzunluklu vektörü göstermektedir. Bu Gray dönüşüm bir izometridir ve \mathbb{Z}_2^s üzerindeki Lee uzaklığını $n = 2^{s-1}$ olmak üzere \mathbb{Z}_2^n üzerindeki Hamming uzaklıklarına dönüştürür. $s = 3$ için \mathbb{Z}_8 in elemanlarının görüntüleri aşağıdaki gibidir.

$$\phi: \mathbb{Z}_2^3 \rightarrow \mathbb{Z}_2^4$$

$$\phi(0) = (0000), \phi(1) = (0001),$$

$$\phi(2) = (0011), \phi(3) = (0111),$$

$$\phi(4) = (1111), \phi(5) = (1110),$$

$$\phi(6) = (1100), \phi(7) = (1000).$$

\mathbb{Z}_8 üzerindeki Lee ağırlığı, $w_L: \mathbb{Z}_8 \rightarrow \mathbb{Z}_8$, $w_L(x) = \min(x, 8 - x)$ biçiminde tanımlanır. Ayrıca, Bir $e \in \mathbb{Z}_8^n$ vektörü için Lee ağırlığı $w_L(e)$, e nin koordinatlarının Lee ağırlıklarının toplamı olarak tanımlanır. [12].

Tanım 2.1. $\varphi: R \rightarrow \mathbb{Z}_8^3$ dönüşümü $\varphi(a + ub + vc) = (a, a + b, a + c)$ olmak üzere, herhangi bir $d \in R$ için d nin Gray ağırlığı, $w_G(d) = w_L(\varphi(d))$ olarak tanımlanır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. $R[x, \theta]$ Aykırı Polinom Halkası

Tanım 3.1. R, θ otomorfizmi ile bir halka olsun. R üzerindeki tüm polinomların kümesi

$$R[x, \theta] = \{a_0 + a_1x + \dots + a_{n-1}x^{n-1}\},$$

polinomların bilinen toplaması ve herhangi $d \in R$ olmak üzere

$$xd = \theta(d)x$$

şeklinde tanımlanan çarpma işlemi ile $R[x, \theta]$ aykırı polinom halkası olarak adlandırılır. Tanımlanan bu çarpma işlemi $R[x, \theta]$ nin tüm elemanları için genişletilebilir.

Örnek 3.1. $p = x^2 + (1 + u + v)x + u + v$ ve $q = x + 7 + 3u + 5v$ olsun.

$$pq = [x^2 + (1 + u + v)x + u + v][x + 7 + 3u + 5v]$$

$$= x^3 + (4u + 6v)x^2 + (1 + 5u + 3v)x + 7u + 7v$$

$$qp = [x + 7 + 3u + 5v][x^2 + (1 + u + v)x + u + v]$$

$$= x^3 + (4u + 6v)x^2 + (7 + 2u + 4v)x + 7u + 7v$$

açıkça görülmektedir ki, pq polinomundaki x li terimin katsayısı ile ve qp polinomundaki x li terimin katsayısı farklıdır. Dolayısıyla $pq \neq qp$ olduğundan $R[x, \theta]$, değişmeli olmayan bir halkadır.

Lemma 3.1. $R^\theta = \{\alpha + u\beta + v\gamma \mid \alpha, \beta, \gamma \in \mathbb{Z}_8, \beta = \gamma\}$ olmak üzere, her $e \in R^\theta$ için $\theta(e) = e$ olacak şekildeki elemanların kümesi R^θ , R nin θ tarafından sabit bırakılan bir alt halkasıdır.

Tanım 3.2. $p(x) \in R[x, \theta]$ olsun. Her $d(x) \in R[x, \theta]$ için $p(x)d(x) = d(x)p(x)$ oluyorsa, $p(x)$ polinomuna $R[x, \theta]$ nin bir merkez elemanı denir [7].

Teorem 3.2. $center(R) = \{\sum_{i=0}^l d_i x^{2^i} \mid d_i \in R^\theta\}$ dir.

İspat: $D = \{\sum_{i=0}^l d_i x^{2^i} \mid d_i \in R^\theta\}$ ve $p = \sum_{i=0}^l d_i x^{2^i} \in D$ olsun. Negatif olmayan herhangi bir i ve her $d_i \in R$ için, θ nin mertebesi 2 olduğundan

$$x^{2^i} d_i = (\theta^2)^i(d_i) x^{2^i} = d_i x^{2^i}$$

olduğu elde edilir. Bu $x^{2^i} \in center(R)$ olmasını gerektirir. Dolayısıyla

$$p = d_0 + d_1 x^2 + \dots + d_l x^{2^l}$$

formundaki tüm polinomların $center(R)$ olduğunu gösterir.

Tersine, $p = p_0 + p_1 x + \dots + p_k x^k \in center(R)$ olsun. Bu durumda $xp = px$ dir. Dolayısıyla, tüm p_i ler θ tarafından sabit bırakılır ve $p_i \in R^\theta$ dir. Ayrıca, $\theta(d_i) \neq d_i$ olacak şekilde bir $d_i \in R$ olarak seçilirse, $d_i p = p d_i$ bağıntısından 2 ile bölünemeyen tüm i indisleri için $p_i = 0$ olur. Dolayısıyla,

$$p = p_0 + p_2 x^2 + p_4 x^4 + \dots + p_l x^{2^l} \in D$$

elde edilir. Buradan $center(R) \subseteq D$ olduğundan, ispat tamamlanır.

Sonuç 3.1. $p(x) = x^m - 1$ olsun. $p(x) \in center(R)$ olabilmesi için gerek ve yeter koşul $2 \mid m$ olmasıdır.

Sonuç 3.1, eğer m çift ise $R[x, \theta] / \langle x^m - 1 \rangle$ nin bir halka olduğunu ve $x^m - 1$ polinomunun $R[x, \theta]$ halkasının merkezi $center(R)$ de olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, $x^m - 1$ nin iki taraflı bir ideal üretilmesi için $2 \mid m$ olması gereklidir. Aksi durumda $R[x, \theta] / \langle x^m - 1 \rangle$ sadece bir R -modül olacaktır.

Örnek 3.2. $p(x) = (u + v)x^2 + 3$ ve $q(x) = (u + v)x$ olsun. Bu durumda

$$p(x) = xq(x) + 3$$

$$p(x) = (1 + 5u + 6v)xq(x) + 3$$

olarak yazılabilir. Açıkça görülmektedir ki, $x \neq (1 + 5u + 6v)x$ ve $der(3) < der((1 + 5u + 6v)x)$ dir. Dolayısıyla, $R[x, \theta]$ bir Euclidean halka değildir, bu nedenle hem sağ hem de sol bölme algoritması bu halkada sağlanmaz. Aşağıdaki teorem hem sağ hem de sol bölme algoritmasının $R[x, \theta]$ bazı elemanları için uygulanabileceğini göstermektedir.

Teorem 3.3. (Sağ Bölme Algoritması) $f(x)$ ve $g(x)$ polinomları $g(x)$ in baş katsayısı birim olacak şekilde $R[x, \theta]$ halkasında herhangi iki polinom olsun. Bu durumda,

$$f(x) = q(x)g(x) + r(x)$$

$der(r(x)) < der(g(x))$ veya $r(x) = 0$ olacak şekilde $q(x), r(x) \in R[x, \theta]$ vardır [7].

3.2. $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ Üzerinde Aykırı Devirli Kodlar

Bu bölümde, θ -devirli kodlar olarak adlandıracağımız, R üzerinde aykırı devirli kodlar çalışılmıştır.

Bilindiği üzere, R^n nin boş olmayan bir alt kümesine R üzerinde bir kod denir. C, R üzerinde bir kod olmak üzere eğer

C, R^n nin bir R -alt modülü oluyorsa C ye R üzerinde bir lineer kod denir.

Tanım 3.3. θ, R üzerinde bir otomorfizm ve $(d_0, d_1, \dots, d_{n-1}) \in R^n$ olmak üzere, $\sigma_\theta: R^n \rightarrow R^n$ ye

$$\sigma_\theta(d_0, d_1, \dots, d_{n-1}) = (\theta(d_{n-1}), \theta(d_0), \dots, \theta(d_{n-2}))$$

şeklinde tanımlı devirsel öteleme operatörü olsun. Eğer bir C kodu, σ_θ devirsel öteleme altında kapalı ise, C ye bir θ -devirli kod denir.

$p(x)$, R üzerinde derecesi n olan herhangi bir polinom olmak üzere $R_{n,\theta} = \frac{R[x,\theta]}{\langle p(x) \rangle}$ olsun. Bir $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in C$ kodsözü, polinom gösterimi olarak $c = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$ şeklindedir. Ayrıca, $R_{n,\theta} = \frac{R[x,\theta]}{\langle p(x) \rangle}$, $r(x)(q(x) + \langle p(x) \rangle) = r(x)q(x) + \langle p(x) \rangle$ çarpma işlemi ile bir sol $R[x,\theta]$ -modüldür.

Teorem 3.4. $R_{n,\theta} = \frac{R[x,\theta]}{\langle x^n - 1 \rangle}$ üzerinde n uzunluklu bir C kodunun θ -devirli kod olabilmesi için gerek ve yeter koşul C nin $R_{n,\theta}$ nin bir $R[x,\theta]$ -alt modülü olmasıdır.

İspat. C nin $R_{n,\theta}$ üzerinde n uzunluklu bir θ -devirli kod olduğunu kabul edelim. $u(x) = u_0 + u_1x + \dots + u_{n-1}x^{n-1}$ ve $v(x) = v_0 + v_1x + \dots + v_{n-1}x^{n-1} \in C$ olsun. C bir lineer kod olduğundan, $u + v \in C$ dir. Ayrıca, her $i \in \mathbb{N}$ için, C devirli olduğundan $x^i u(x) \in C$ dir. Bu ise, tüm $p(x) \in R_{n,\theta}$ polinomları için $p(x)u(x) \in C$ olması demektir. Dolayısıyla, $C, R_{n,\theta}$ nin bir $R[x,\theta]$ -alt modülüdür. Şimdi ise, C nin $R_{n,\theta}$ nin bir $R[x,\theta]$ -alt modülü olduğunu kabul edelim. $u, v \in C$ olsun. Alt modül tanımından $u + v \in C$ ve $x^i u(x) \in C$ elde edilir. Dolayısıyla, C bir θ -devirli koddur.

Sonuç 3.2. Eğer C, n çift tamsayı uzunluklu bir θ -devirli kod ise, $C, R_{n,\theta}$ nin bir idealidir.

İspat. n bir çift tamsayı olsun. Bu durumda, $\langle x^n - 1 \rangle$ iki taraflı bir ideal olur, dolayısıyla $\frac{R[x,\theta]}{\langle x^n - 1 \rangle}$ bir halkadır.

Teorem 3.5. C, R üzerinde n uzunluklu bir θ -devirli kod ve C de, baş katsayısı birim olan minimum dereceli bir $g(x)$ polinomu bulunsun. Bu durumda $C = \langle g(x) \rangle$ dir. Ayrıca $g(x)|(x^n - 1)$ ve $\{g(x), xg(x), \dots, x^{n-\text{der}(g(x))-1}g(x)\}$ kümesi C nin bir bazıdır.

İspat. [7] Theorem 14 ün ispatının benzeridir.

$C = \langle g(x) \rangle, x^n - 1$ in bir sağ bölüni $g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_kx^k$ tarafından üretilen ve uzunluğu n olan R üzerinde bir θ -devirli kod ise, C nin $(n - k) \times n$ tipindeki üreteç matrisi

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \\ x^2g(x) \\ \vdots \\ x^{n-k-1}g(x) \end{bmatrix}_{(n-k) \times n}$$

formundadır. Daha açık bir şekilde eğer $n - k$ çift ise

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_k & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \theta(g_0) & \theta(g_1) & \dots & \theta(g_{k-1}) & \theta(g_k) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & \dots & g_{k-2} & g_{k-1} & g_k & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \theta(g_0) & \theta(g_1) & \theta(g_2) & \dots & \theta(g_k) \end{bmatrix}$$

ve $n - k$ tek ise

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_k & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \theta(g_0) & \theta(g_1) & \dots & \theta(g_{k-1}) & \theta(g_k) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & \dots & g_{k-2} & g_{k-1} & g_k & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_k \end{bmatrix}$$

şeklindedir.

Örnek 3.3. $x^6 - 1 = [(1 + 7u + 7v)x^3 + (4u + 4v)x^2 + 4x + 7 + u + v][(1 + u + v)x^3 + (4u + 4v)x^2 + 4x + 1 + u + v]$ olmak üzere, $C, x^6 - 1$ in sağ bölüni $g(x) = (1 + u + v)x^3 + (4u + 4v)x^2 + 4x + 1 + u + v$ polinomu tarafından üretilen 6 uzunluklu bir θ -devirli kod olsun. Bu durumda $\{g(x), xg(x), x^2g(x)\}$ kümesi C kodu için bir bazdır. C nin kardinalitesi $|C| = 2^{27}$ olup, C nin üreteç matrisi

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \\ x^2g(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & g_3 & 0 & 0 \\ 0 & \theta(g_0) & \theta(g_1) & \theta(g_2) & \theta(g_3) & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & g_2 & g_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+u+v & 4 & 4u+4v & 1+u+v & 0 & 0 \\ 0 & 1+u+v & 4 & 4u+4v & 1+u+v & 0 \\ 0 & 0 & 1+u+v & 4 & 4u+4v & 1+u+v \end{bmatrix}$$

. Ayrıca, G üreteç matrisinin Gray görüntüsü

$$\begin{bmatrix} 122 & 444 & 044 & 122 & 000 & 000 \\ 000 & 122 & 444 & 044 & 122 & 000 \\ 000 & 000 & 122 & 444 & 044 & 122 \end{bmatrix}$$

olup, $\varphi(C), (18, 8^9, 2)$ parametrelerine sahip bir koddur.

Tanım 3.4. C, R üzerinde n uzunluklu bir θ -devirli kod olsun.

$$w = (w_0, w_1, \dots, w_{n-1}), v = (v_0, v_1, \dots, v_{n-1}) \in R^n$$

ve w, v bilinen iç çarpım olmak üzere C nin duali,

$$C^\perp = \{w \mid \text{her } v \in C \text{ için } w \cdot v = 0\}$$

olarak tanımlanır.

Teorem 3.6. k bir tek tamsayı ve en az bir $h(x) = h_0 + h_1x + h_2x^2 + \dots + h_kx^k \in R[x,\theta]$ için $x^n - 1 = h(x)g(x)$ olsun. Eğer $C = \langle g(x) \rangle$ uzunluğu çift tamsayı n olan R üzerinde bir θ -devirli kod ise C nin kontrol matrisi

$$H = \begin{bmatrix} h_k & \theta(h_{k-1}) & h_{k-2} & \dots & h_1 & \theta(h_0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \theta(h_k) & h_{k-1} & \dots & h_2 & \theta(h_1) & h_0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & h_k & \dots & h_3 & \theta(h_2) & h_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_k & \theta(h_{k-1}) & h_{k-2} & \dots & \theta(h_0) \end{bmatrix}$$

formundadır. k bir çift tamsayı olduğunda H matrisi

$$H = \begin{bmatrix} h_k & \theta(h_{k-1}) & h_{k-2} & \dots & h_1 & \theta(h_0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \theta(h_k) & h_{k-1} & \dots & h_2 & \theta(h_1) & h_0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & h_k & \dots & h_3 & \theta(h_2) & h_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \theta(h_k) & h_{k-1} & \theta(h_{k-2}) & \dots & h_0 \end{bmatrix}$$

şeklindedir.

İspat. [7] Theorem 4.5 in ispatının benzeridir.

Örnek 3.4. Örnek 3.3'te verilen C kodu için kontrol polinomu $h(x) = (1 + 7u + 7v)x^3 + (4u + 4v)x^2 + 4x + 7 + u + v$ dir. Bu durumda Teorem 3.6'dan dolayı, C nin kontrol matrisi

$$\begin{bmatrix} 7+u+v & 4 & 4u+4v & 1+7u+7v & 0 & 0 \\ 0 & 7+u+v & 4 & 4u+4v & 1+7u+7v & 0 \\ 0 & 0 & 7+u+v & 4 & 4u+4v & 1+7u+7v \end{bmatrix}$$

şeklindedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, $u^2 = v^2 = uv = vu = 0$ olmak üzere $R = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$ halkası üzerindeki aykırı devirli kodlar tanıtılmıştır. θ , R üzerinde bir otomorfizm olmak üzere $R[x, \theta]$ aykırı polinomlar halkası kullanılarak θ -devirli kodların bazı cebirsel özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımıyla, kodlama teorisinde önemli bir araştırma problemi olan optimal kod bulmak ile ilgili yeni araştırmalar yapılabilir.

Kaynakça

- [1] Hammons, A. R., Kumar, P. V, Calderbank, A. R., Sloane, N. J. A. and Solé, P., (1994), The \mathbb{Z}_4 -linearity of Kerdock, Preparata, Goethals, and Related Codes, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 40, pp. 301-319.
- [2] Çalışkan, B. and Balıkçı, K., (2019), Counting $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4\mathbb{Z}_8$ - additive codes, European Journal of Pure and Applied Mathematics, vol. 12, no. 2, pp. 668-679.
- [3] Çalışkan, B. ve Özkan, Ö., (2020), Serbest $\mathbb{Z}_2\mathbb{Z}_4\mathbb{Z}_8$ -Toplamsal Kodları Sayma, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 13, pp. 70 -75.
- [4] Çalışkan, B., (2021), On one-weight and acd codes in $\mathbb{Z}_2^r \times \mathbb{Z}_4^s \times \mathbb{Z}_8^t$, Filomat, vol. 35(3).
- [5] Boucher, D. Geiselmann, W. and Ulmer, F., (2007), Skew Cyclic Codes, Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing, vol. 18, no. 4, pp. 379-389.
- [6] Boucher, D. and Ulmer, F., (2009), Coding with Skew Polynomial Rings, Journal of Symbolic Computation, vol. 44, pp. 1644-1656.
- [7] Sharma, A. and Bhaintwal, M., (2017), A class of skew-constacyclic codes over $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4$ with derivation, International Journal of Information and Coding Theory, vol. 4, no. 4, pp. 289-303.
- [8] Islam, H. and Parakash, O., (2018), A study of cyclic and constacyclic codes over $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4 + v\mathbb{Z}_4$, Int. J. of Information and Coding Theory, vol. 5, pp. 155-168.
- [9] Dougherty, S.T., Gulliver, T.A. and Wong, J., (2006), Self-dual codes over \mathbb{Z}_8 and \mathbb{Z}_9 , Des. Codes Crypt., vol. 41, pp. 235-249.
- [10] Çalışkan, B., (2020), Linear Codes over the Ring $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8 + v\mathbb{Z}_8$, Conference Proceeding Science and Technology, vol. 3, no. 1, pp. 19-23.
- [11] Carlet, C., (1998), \mathbb{Z}_{2^k} linear codes, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44, pp. 1543-1547.
- [12] Dougherty, S.T. and Fernández-Córdoba, C., (2011), Codes over \mathbb{Z}_{2^k} , gray map and self-dual codes, Adv. Math. Commun., vol. 5, pp. 571-588.



An in-depth exam of IoT, IoT Core Components, IoT Layers, and Attack Types

Muhammed Yıldırım^{1*}, Uğur Demiroğlu², Bilal Şenol³

^{1*} Firat University, College of Engineering, Computer Engineering Department/ Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1866-4721) muhyldrm23@gmail.com

²Firat University, Technical Vocational School, Computer Sciences Department, Elazığ, Turkey (ORCID: 0000-0002-0000-8411) ugurdemiroglu@firat.edu.tr

³Inonu University, College of Engineering, Computer Engineering Department, Elazığ, Turkey (ORCID: 0000-0002-3734-8807) bilal.senol@inonu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010023)

ATIF/REFERENCE: Yıldırım, M., Demiroğlu, U. & Şenol, B. (2021). An in-depth exam of IoT, IoT Core Components, IoT Layers, and Attack Types. *European Journal of Science and Technology*, (28), 665-669.

Abstract

The Internet of Things (IoT) is a global network of devices that can communicate with each other through different communication protocols and have the ability to detect and process data. Since the Internet of Things connects electronic devices to the Internet for efficient examination and execution of daily activities, it has a seriously positive effect on human life. These devices use some communication protocols to communicate with each other. The selection of these communication protocols is of great importance. The data obtained from these smart devices are stored with the help of cloud technology. These stored data reveal the concept of big data. The processing and analysis of these data are of great importance. Machine learning methods are of great importance in processing this large amount of data. In this study, IoT, the basic components of the IoT, layer structure, security attacks are examined.

Keywords: Attack Type, IoT, IoT Components, IoT Layers

IoT, IoT Çekirdek Bileşenleri, IoT Katmanları ve Saldırı Türlerinin Derinlemesine İncelenmesi

Öz

Nesnelerin İnterneti (IoT), farklı iletişim protokolleri aracılığıyla birbirleriyle iletişim kurabilen ve verileri algılama ve işleme yeteneğine sahip küresel bir cihaz ağıdır. Nesnelerin İnterneti, günlük aktivitelerin verimli bir şekilde incelenmesi ve yürütülmesi için elektronik cihazları internete bağladığından, insan hayatı üzerinde ciddi anlamda olumlu bir etkiye sahiptir. Bu cihazlar birbirleriyle iletişim kurmak için bazı iletişim protokollerini kullanır. Bu iletişim protokollerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu akıllı cihazlardan elde edilen veriler bulut teknolojisi yardımıyla saklanmaktadır. Depolanan bu veriler, büyük veri kavramını ortaya çıkarmaktadır. Bu verilerin işlenmesi ve analizi büyük önem taşımaktadır. Bu büyük miktardaki verinin işlenmesinde makine öğrenmesi yöntemleri büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada IoT, IoT'un temel bileşenleri, katman yapısı, güvenlik saldırıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Saldırı Türü, IoT, IoT Bileşenleri, IoT Katmanları

* Corresponding Author: muhyldrm23@gmail.com

1. Internet of Things

Different communication systems connect end-users as the internet communication infrastructure develops (Lin et al., 2017). Many sensor devices can now be incorporated into the internet environment using various communication protocols thanks to recent technological advancements (Luis Bustamante, Patricio, & Molina, 2019). Continuous and real-time data flow from sensor devices, patient and elderly monitoring, traffic management systems, security, transportation, smart cities, industry, agriculture, and energy, among other applications. It's been applied successfully in a variety of fields, including (Ozkaya et al., 2018).

It is self-evident that the Internet has a huge impact on our daily lives through enhancing communication, information sharing, and interpersonal connection. IoT is a concept that describes the intelligent linking of smart devices through items that can perceive and interact with one another (Citoni et al, 2019). In order for smart devices to communicate with each other, each must have an ID. In addition, these devices must have sensing capabilities to communicate with each other. The communication of smart devices with each other also has a great impact on human life (Abdel et al, 2019). In a short period of time, the IoT has added a new dimension to human capacities such as working, living, and learning. It is also clear that this technology will develop very quickly.

It is of great importance to store data obtained from smart devices located in different locations. If the data is not stored and processed, it does not make sense. With the internet of things, data obtained from smart devices brings the concept of cloud computing. Cloud computing technology is a model that allows access to a common pool of configurable computing resources, whenever and wherever (Yildirim, Çınar, & Cengil). With the developing technology, the use of this model is increasing day by day. With cloud technology, the size of the data kept in databases is also increasing. It is important to evaluate this increasing amount of data with machine learning methods and produce results that can be used for technical and commercial purposes (Eroğlu et al, 2021).

In this study, the Internet of Things in the first part, IoT basic components in the second part, IoT architectures and security threats in the third part, and finally, the fourth part is given conclusions.

2. IoT Core Components

There are multiple definitions for IoT. IoT can be defined as a network structure in which devices or machines transmit data among themselves, gather information, and make decisions based on that information, all without the need for human interaction or manual data entry. One of the basic components that make up the IoT structure is smart devices. The important thing in IoT is that these devices communicate with each other using certain communication protocols and store the obtained data. IoT consists of a large ecosystem. As shown in Figure 1 in the ecosystem of objects, the main components are devices, communication protocols, and cloud structures where the obtained data is stored (Borycki, 2017). Processing, storing, and analyzing the data kept in the cloud infrastructure is of great importance. Machine learning methods are frequently used to process this large amount of data (Çınar et al, 2021).

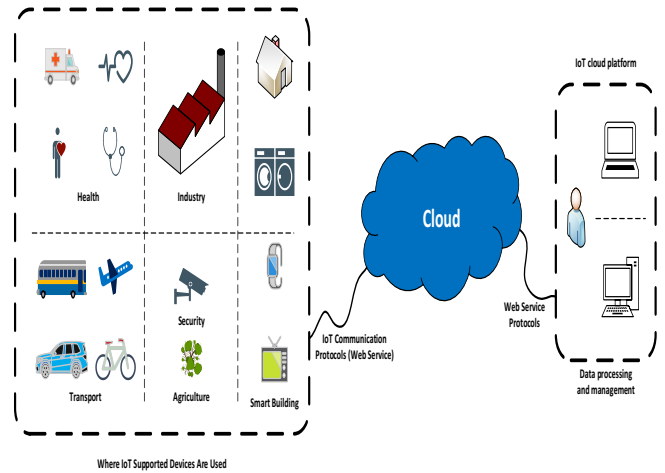


Figure 1. IoT Components

As seen in Figure 1, the first of the IoT components are the devices. The task of smart devices, the first of the basic components of IoT, is to collect data from the environment, interact with devices via wired or wireless network technologies, and enable communication over the internet. As can be seen in Figure 2, these devices are made up of three primary components.

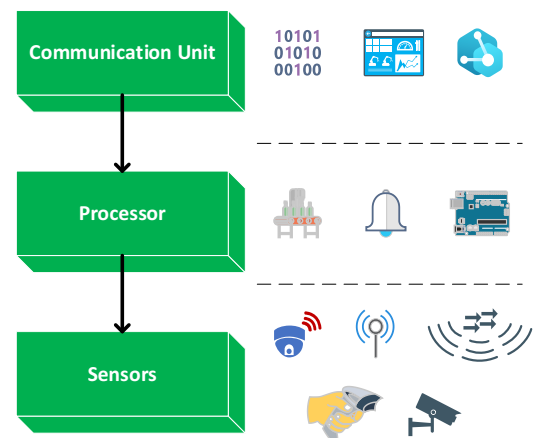


Figure 2. Main Components of Devices

In order for these devices to communicate and communicate over the internet, they must have their own private addresses. In addition, these devices must have a communication unit in order for these devices to collect data and communicate with each other. Another component that should be in these devices is the sensors. If these devices do not have sensors, it becomes impossible for the devices to communicate with each other. With the development of IoT, these smart devices have increased internet traffic the most (Das et al, 2018). At the same time, with the increase in internet traffic, the amount of data kept in databases has started to increase very rapidly. Since these data are connected from different places and in different ways, the concept of cloud technology is also developing rapidly. Another component that should be in IoT devices is the processor or embedded systems.

Another component of IoT is communication protocols. Communication protocols are of great importance in the IoT system (Moraes et al, 2019). Communication protocols are developed to enable communication of smart devices working over the network and are also defined as web services. In addition, how the devices will transfer the data to the cloud environment is

determined using these protocols. There are different communication layers developed on the subject. The most widely used communication protocols are CoAP, MQTT, AMQP, XMPP, DDS, and HTTP REST (Seleznev & Yakovlev, 2019). These communication layers are given in Figure 3.

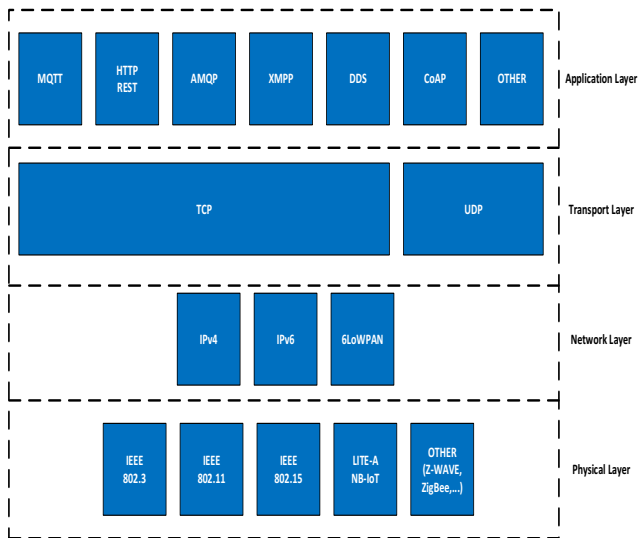


Figure 3. Communication Layers

The fact that the communication protocol to be selected is related to the subject and device is of great importance in data transport and communication of devices (Andy, Rahardjo, & Hanindhito, 2017). In addition, there are different criteria to be considered in the selection of these communication layers.

When Figure 1 is examined, cloud computing emerges as one of the basic components of IoT. Cloud computing technology is one of the basic components of IoT in this component. It provides the opportunity to access a common pool of configurable computing resources whenever and wherever. Therefore, it is important to process, store and analyze the data in the cloud structure.

3. IoT Layers and Attack Types

There is no single and generally accepted structure for IoT architecture (Rao & Haq, 2018). Some researchers argue that this structure should consist of 3 layers, some researchers 4, and some researchers argue that it should consist of 5 layers. IoT layer architecture is given in figure 4.

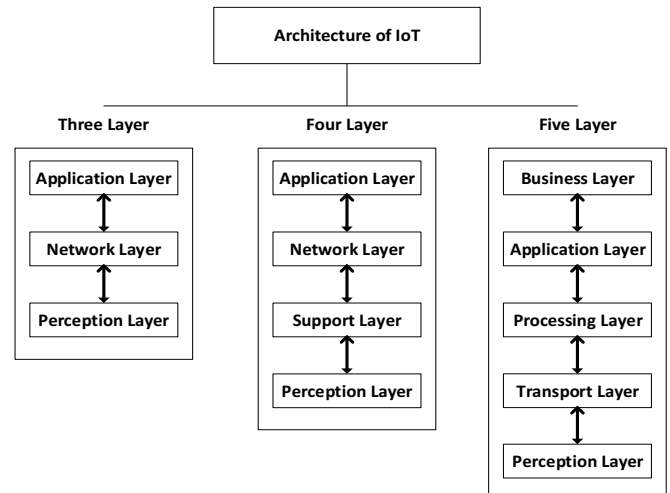


Figure 4. IoT Layer Architecture

Three-layer architecture emerged with the concept of IoT and is one of the first proposed architectures. This proposed 3-layer architecture consists of Perception, Network, and Application layers (Zhang et al., 2017). With the development of IoT technology, 4-layer architecture has been developed. There is an extra layer in this 4-layer architecture. This layer is the support layer. A 5-layer architecture is proposed to solve the security and storage problems of the 4-layer architecture. The layers used in these architectures are explained in order, and the attacks in each layer are examined in detail.

3.1. Perception Layer

The sensor layer, also known as the perception layer, functions similarly to people's eyes, hearing, and nose. The sensor layer's principal job is to recognize things and collect data from them. There are many different types of sensors that can be mounted to items to collect data. The application needs to choose the sensors. These sensors can capture temperature, humidity, heat, movement, vibration, and other data (Khattak, Shah, Khan, Ali, & Imran, 2019). However, attackers who wish to utilize the sensor for replacing it with their own are primarily interested in these. As a result, the sensors are the source of the majority of the threats. The common security threats of the perception layer can be grouped into five categories.

- **Eavesdropping:** Eavesdropping is a real-time attack in which an attacker intercepts private communications such as calls, texts, faxes, and video conferences. The main purpose here is to steal information sent over the network (Hoang et al, 2019).
- **Fake Node and Malicious:** This type of attack is an attack where the attacker enters fake data through a node added to the system. Here it is aimed to stop the transmission of real information. In addition, the node inserted by the attacker consumes and potentially controls the energy of the actual nodes to destroy the network (Ahmad et al, 2020).
- **Node Capture:** In this attack, the attacker controls a switch node, such as a gateway node. As a result, communication between the sender and recipient and any information stored in memory may be compromised.
- **Timing Attack:** This attack is usually carried out on smart devices with low computing capacity.
- **Replay Attack:** In this type of attack, the attacker receives information from the network between the

sender and the receiver. By demonstrating his authenticity and proving his identity, the attacker sends the same verified information that was previously received in his communication to the victim. Since the message sent by the attacker is encrypted, the receiver can evaluate it correctly (Rughoobur & Nagowah, 2017).

3.2. Network Layer

The perception layer and the application layer communicate through this layer. Network layer is to transmit the data gathered from physical objects using different communication technologies, wired or wireless. This layer is also vulnerable to attacks because it connects devices and other network components (Ceron et al, 2019). It is possible to examine the threats emerging in the network layers under 4 headings.

- Denial of Service (DoS) Attack: The purpose of this attack is to prohibit users from accessing devices or other network resources. Attackers send unnecessary requests to devices and network resources, making users harder to access.
- Main-in-The-Middle (MiTM) Attack: The attacker interrupts and modifies the communication between the sender and recipient in this form of attack. In this type of attack, the attacker can control the communication.
- Storage Attack: This type of attack is made to the place where the data is kept. Where the data is kept, the data can be modified by the attacker.
- Exploit Attack: In this type of attack, the attacker tries to infiltrate the system using security vulnerabilities. In this type of attack, the aim is to steal data (Andreica et al, 2020).

3.3.Application Layer

It is the layer that is responsible for the operation of all applications. This layer has to provide services to applications (Sun & Ansari, 2017). It is possible to collect common security threats emerging in this layer under 3 headings.

- Cross Site Scripting: It enables an attacker to script a trusted website that other users visit. Here, the attacker can modify the information and damage the system.
- Malicious Code Attack: It is a system-damaging code located anywhere in the software. This code can run itself and damage the system.
- The ability of dealing with Mass Data: It's a form of attack that causes data loss and network disruption.

3.4.Support Layer

The fourth layer is primarily required for security reasons. Because information is transferred directly to the network layer in a three-tier architecture, the network will be exposed to additional risks. The support layer is a layer that runs between the Network and Perception layers. This layer checks if the information comes from real users. This layer is also responsible for transmitting information to the network layer (Ashouri et al, 2018). Transmission at this layer can be wired or wireless. In this layer, it is possible to give the most common threats under 2 headings.

- DoS Attack: The DoS attack in this layer is basically a Network layer attack. The attacker sends a large volume

of data to lock down the network traffic. IoT users are unable to access the system as a result of this.

- Malicious Insider Attack: An authorized user from an IoT environment launches a sophisticated assault to gain access to users' personal information.

Business Layer, Processing Layer, and Transport Layer layers are used in the 5-layer architecture, unlike the 3- and 4-layer architecture.

3.5.Processing Layer

In a five-layer architecture, this layer is used to eliminate useless information from the Transport layer. This reduces the burden of working with big data for IoT objects (Nasiri et al, 2019). Unfortunately, there are a variety of attacks that can damage this layer and the performance of IoT devices.

- Exhaustion: These attacks aim to consume IoT objects' battery, energy, and memory over time.

Malware: The purpose of this attack type is to access user information. Here, viruses, adware, spyware are some of the tools used in these attacks.

3.6.Transport Layer

The Transport layer is a layer between the Processing and Perception layers. This layer carries out the communication task between the Processing and Perception layers.

3.7.Business Layer

The Business Layer is a layer that acts as the administrator of the entire system, especially the users' privacy. Most of the security problems that occur in this layer are caused by the previous layer (Navan et al, 2017). We can classify the two most common attacks in the Business layer as Business Logic Attack and Zero-Day Attack.

- Business Logic Attack: This attack, which takes advantage of the deficiencies in the software, controls the information exchange. The most common programming errors are password recovery and login verification.

Zero-Day Attack: This type of attack is caused by security vulnerabilities in an application that the user is not used to. The attacker's goal is to gain control.

4. Conclusion

IoT is a rapidly advancing field with developing technology. It is obvious that this area will positively affect human life. IoT is a global network that refers to the communication of devices with each other using different communication protocols. In this study, we examined the IoT core components and explained where and how these components are used. We also examined the IoT layers and the types of attacks on these layers. We also discussed various challenges associated with IoT technology. As a result, we aimed to present a general perspective on this field with our study.

References

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Mohamed, M., & Rushdy, E. (2019). Internet of things in smart education environment: Supportive framework in the decision-making process. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 31(10), e4515.
- Ahmad, A., Hababeh, M., Abu-Hantash, A., AbuHour, Y., & Musleh, H. (2020). Reduce Effect of Dependent Malicious Sensor Nodes in WSNs using Pairs Counting and Fake Packets. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 15(5).
- Andreica, G. R., Bozga, L., Zinca, D., & Dobrota, V. (2020). Denial of service and man-in-the-middle attacks against IoT devices in a GPS-based monitoring software for intelligent transportation systems. Paper presented at the 2020 19th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet).
- Andy, S., Rahardjo, B., & Hanindhito, B. (2017). *Attack scenarios and security analysis of MQTT communication protocol in IoT system*. Paper presented at the 2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI).
- Ashouri, M., Davidsson, P., & Spalazzese, R. (2018). *Cloud, edge, or both? Towards decision support for designing IoT applications*. Paper presented at the 2018 Fifth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security.
- Borycki, D. (2017). *Programming for the Internet of Things: Using Windows 10 IoT Core and Azure IoT Suite*: Microsoft Press.
- Ceron, J. M., Steding-Jessen, K., Hoepers, C., Granville, L. Z., & Margi, C. B. (2019). Improving iot botnet investigation using an adaptive network layer. *Sensors*, 19(3), 727.
- Citoni, B., Fioranelli, F., Imran, M. A., & Abbasi, Q. H. (2019). Internet of Things and LoRaWAN-enabled future smart farming. *IEEE Internet of Things Magazine*, 2(4), 14-19.
- Çınar, A., Yıldırım, M., & Eroğlu, Y. (2021). Classification of pneumonia cell images using improved ResNet50 model. *Traitement du Signal*, 38(1), 165-173.
- Das, A., Dash, P., & Mishra, B. K. (2018). An innovation model for smart traffic management system using internet of things (IoT) *Cognitive Computing for Big Data Systems Over IoT* (pp. 355-370): Springer.
- Eroğlu, Y., Yıldırım, M., & Çınar, A. (2021). Convolutional Neural Networks based classification of breast ultrasonography images by hybrid method with respect to benign, malignant, and normal using mRMR. *Computers in biology and medicine*, 133, 104407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104407>
- Hoang, T. M., Nguyen, N. M., & Duong, T. Q. (2019). Detection of eavesdropping attack in UAV-aided wireless systems: Unsupervised learning with one-class SVM and k-means clustering. *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(2), 139-142.
- Khattak, H. A., Shah, M. A., Khan, S., Ali, I., & Imran, M. (2019). Perception layer security in Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 100, 144-164.
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE internet of things journal*, 4(5), 1125-1142.
- Luis Bustamante, A., Patricio, M. A., & Molina, J. M. (2019). Thinger. io: An open source platform for deploying data fusion applications in IoT environments. *Sensors*, 19(5), 1044.
- Moraes, T., Nogueira, B., Lira, V., & Tavares, E. (2019). *Performance Comparison of IoT Communication Protocols*. Paper presented at the 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC).
- Nasiri, H., Nasehi, S., & Goudarzi, M. (2019). Evaluation of distributed stream processing frameworks for IoT applications in Smart Cities. *Journal of Big Data*, 6(1), 1-24.
- Navani, D., Jain, S., & Nehra, M. S. (2017). *The internet of things (IoT): A study of architectural elements*. Paper presented at the 2017 13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS).
- Ozkaya, U., Öztürk, Ş., Tuna, K., Seyfi, L., & Akdemir, B. (2018, April). Faults Detection With Image Processing Methods In Textile Sector. In 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies.
- Rao, T. A., & Haq, E. (2018). Security challenges facing IoT layers and its protective measures. *International Journal of Computer Applications*, 179(27), 31-35.
- Rughoobur, P., & Nagowah, L. (2017). *A lightweight replay attack detection framework for battery depended IoT devices designed for healthcare*. Paper presented at the 2017 International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems (Trends and Future Directions)(ICTUS).
- Seleznev, S., & Yakovlev, V. (2019). Industrial Application Architecture IoT and protocols AMQP, MQTT, JMS, REST, CoAP, XMPP, DDS. *International Journal of Open Information Technologies*, 7(5), 17-28.
- Sun, X., & Ansari, N. (2017). Dynamic resource caching in the IoT application layer for smart cities. *IEEE internet of things journal*, 5(2), 606-613.
- Yıldırım, M., Çınar, A., & Cengil, E. Investigation of Cloud Computing Based Big Data on Machine Learning Algorithms. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 670-682.
- Zhang, G., Kou, L., Zhang, L., Liu, C., Da, Q., & Sun, J. (2017). A new digital watermarking method for data integrity protection in the perception layer of IoT. *Security and Communication Networks*, 2017.



Çift Bantlı RF Enerji Hasadı İçin Toplu Eleman Devre Yapıları

Filiz Sari^{1*}

^{1*} Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8462-175X),
filizsari@aksaray.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010030)

ATIF/REFERENCE: Sari, F. (2021). Çift Bantlı RF Enerji Hasadı İçin Toplu Eleman Devre Yapıları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 670-674.

Öz

RF enerji hasadı, ortamda bulunan elektromagnetik sinyalleri kullanarak DC enerji üretmektedir. Günümüzde elde edilen enerjiyi arttırmak amacıyla çoklu frekansta RF enerji hasadı çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada, çift bantlı RF enerji hasadı için tek empedans uyumlama yapısı ve her bir frekans için ayrı ayrı L tipi empedans uyumlama yapısı çıkış voltaj ve verimleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Simülasyonu yapılan frekans bantları ortamda bulunma yoğunluğu yüksek olan GSM 900 ve GSM 1800 bantlarıdır, bu nedenle 900 MHz ve 1800 MHz frekansları kullanılmıştır ve gerilim çoklayıcı olarak iki kademe Dickson gerilim çoklayıcı seçilmiştir. Çoklu bant empedans dönüştürücü için indüktör ve kapasitörlerden oluşan toplu eleman devre yapıları seçilmiştir. Böylece empedans uyumlama devresi çift bantta yükten kaynağa olan yansımaları bastırmıştır ve maksimum güç transferi sağlanmıştır. Bu yapı için maksimum verimler 900 MHz, 1800 MHz ve çift bant (900&1800 MHz) için sırasıyla 41.947 %, 29.259 %, ve 74.427 % olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: RF enerji hasadı, GSM bandı, Dickson gerilim çoklayıcı, empedans uyumlama, toplu eleman devreler.

Lumped Element Circuit Structures for Dual-band RF Energy Harvesting

Abstract

RF energy harvesting generates DC energy using electromagnetic signals in the environment. Today, multi-frequency RF energy harvesting studies are carried out to increase the energy obtained. In this study, single impedance matching structure for dual band RF energy harvesting and L type impedance matching structure for each frequency are compared considering output voltage and efficiency. The simulated frequency bands are the GSM 900 and GSM 1800 bands, which have a high presence in the environment, so 900 MHz and 1800 MHz frequencies are used and two-stage Dickson voltage multiplier is chosen as the voltage multiplier. Lumped element circuit structures consisting of inductors and capacitors are selected for the multiband impedance converter. Thus, the impedance matching circuit suppress the reflections from the load to the source in the dual band and maximum power transfer was achieved. The maximum efficiencies for this structure are found to be 41.947%, 29.259% and 74.427% for the 900 MHz, 1800 MHz and dual bands (900 & 1800 MHz), respectively.

Keywords: RF energy harvesting, GSM band, Dickson Voltage multiplier, impedance matching, lumped elements.

* Sorumlu Yazar: filizsari@aksaray.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde, enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla birlikte güneş, rüzgâr, titreşim ve elektromanyetik dalgalar gibi kaynaklardan enerji hasadı yapılmaya başlanmıştır. Bu kaynaklardan elde edilen güç yoğunluğu enerji kaynağına göre değişiklik göstermektedir. Güneş enerjisi en yüksek güç yoğunluğuna sahip enerji türüdür. Ancak güneş enerjisinden sadece güneş mevcut olduğunda yararlanılır. Termal enerji termoelektrik malzemedeki sıcaklık farkından elde edildiğinden sıcaklık farkının olmadığı durumlarda faydalanılamamaktadır. Titreşimden oluşan enerji ise uygulanan mekanik titreşimlerin şiddetine göre değişmekte ve titreşimlerin olmadığı durumlarda enerji üretilmemektedir (Akhtar & Husain, 2015; Selim et al., 2021; Tran et al., 2017).

Cep telefonu, Wi-Fi gibi kablosuz haberleşme cihazlarının kullanımındaki büyük artışa paralel olarak ortamda mevcut olan elektromanyetik dalgaların varlığı da önemli ölçüde artmıştır. RF enerji hasadı, ortamda az miktarda bulunan enerjinin toplanarak kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. RF enerji hasadı, kablosuz enerji transfer tekniklerinden biridir ve 10 kHz – 300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik sinyallerini içermektedir (Lu et al., 2015; Mantiply et al., 1997).

Bir RF enerji hasatlama devresi genel olarak anten, empedans uyumlama, gerilim çoklayıcı ve enerji depolama bölümlerinden oluşmaktadır. Ortamki RF sinyalleri anten yardımıyla toplanır, gerilim çoklayıcı ile alınan alternatif akım sinyali doğrultulur ve doğru akım (DC) sinyaline dönüştürülür (Sari & Uzun, 2019). Maksimum güç transferinin sağlanması ve verimi arttırmak için anten ile gerilim çoklayıcı arasında empedans uyumlama devresinin tasarımı RF enerji hasadında önemlidir (Agrawal et al., 2014; Al-Azawy & Sari, 2019; Li et al., 2021).

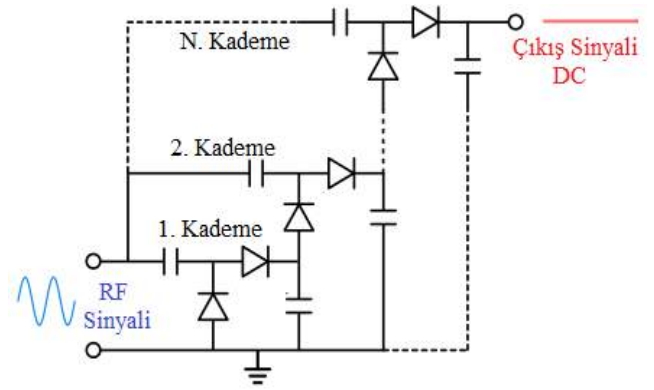
Çoklu band enerji hasadında (Agrawal et al., 2018; Keyrouz et al., 2013; Tafekirt et al., 2020; Ozkaya & Seyfi, 2015; Yalçın & Sari, 2021)'de belirtildiği gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar, her bir frekans için empedans uyumlanmasının ayrı ayrı yapılarak gerilim çoklayıcı devrelerinin birleştirilmesi veya hasadı yapılacak frekanslar için tasarlanan tek bir empedans uyumlama devresinin gerilim çoklayıcı devresine uygulanmasıdır.

Bu çalışmada GSM-900 ve GSM-1800 bantları için 900 MHz ve 1800 MHz frekansları incelenmiştir ve gerilim çoklayıcı olarak Dickson gerilim çoklayıcısı seçilmiştir. Çift band RF enerji hasadında toplu öğeli devre yapıları (lumped elements) iki frekansta da empedans uyumlama yapabilecek şekilde (Y. Liu et al., 2012)'deki matematiksel formülasyonlar yardımı ile hesaplandı. Elde edilen sonuçlar anten girişleri ayrı, her bir frekans için L tipi empedans uyumlama yapılan yapı ile karşılaştırıldı. Simülasyonlar Advance Design System (ADS) 2017 programı kullanılarak yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Gerilim Çoklayıcı

Gerilim çoklayıcılar, antenden alınan alternatif akımı doğru akıma çevirmek ve alınan sinyali yükseltmek için kullanılır. N kademe Dickson gerilim çoklayıcı devresi Şekil 1.'de sunulmuştur.



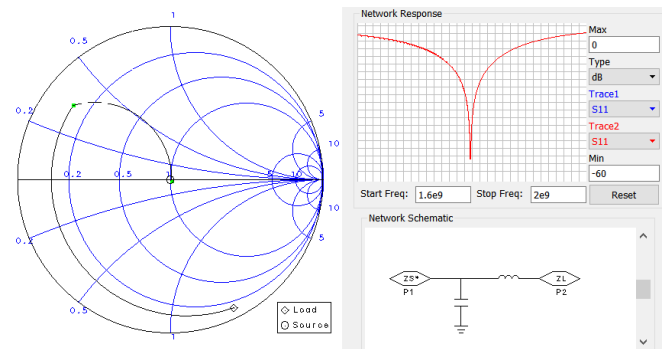
Şekil 1. N Kademe Dickson Gerilim Çoklayıcı

Şekil 1'de 1. kademe temel gerilim çoklayıcı devresidir, iki diyot ve iki kapasitörden oluşmaktadır. 2. kademedeki paralel kapasitörler devrenin toplam empedansını azaltır (Chaour et al., 2017; Di Cataldo & Palumbo, 1996; Sari & Uzun, 2019).

RF enerji hasadında, yüksek anahtarlama hızı, düşük ileri gerilim, düşük substrat kaçağı ve nispeten düşük bağlantı kapasitansına sahip olmaları nedeniyle Schottky diyotlar kullanılır, bu çalışmada Avago Technologies'e ait HSMS-2852 Schottky diyot seçilmiştir (Al-Azawy & Sari, 2019).

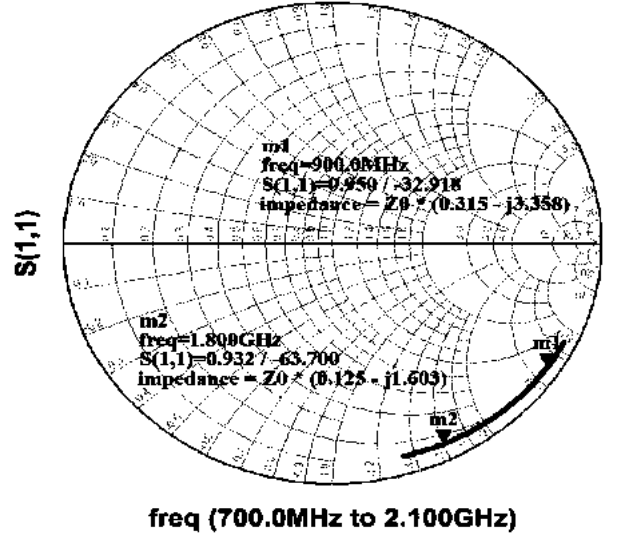
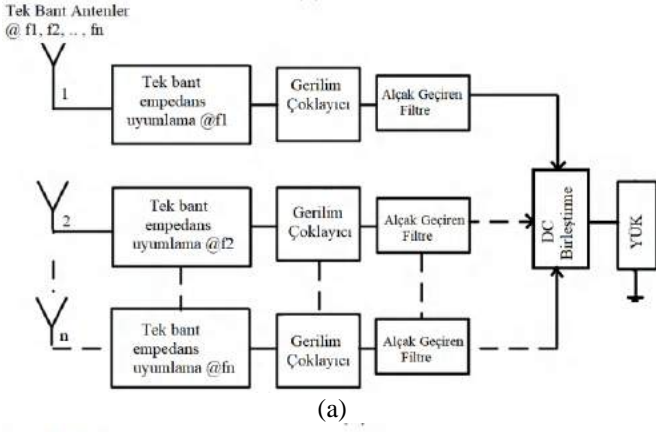
2.2. Empedans Uyumlama

Kaynak empedansı ve yük empedansı eşit olmadığında, alınan sinyal yükten kaynağa doğru yansımaya uğrayacaktır. Bu nedenle, alınan sinyalde güç kaybı olacaktır. Empedans uyumlama devresi ile yük empedansının kaynak empedansı ile dengelenmesi sağlanır ve böylece bu tür bir güç kaybı önlenir. Yani, bu empedansların eşitlenmesi yükten kaynağa yansıyan sinyalleri önler böylece en yüksek güç aktarımı kaynaktan yüke yapılabilir (Pozar, 2011; Rhea, 2006). Empedans uyumu, hasat sisteminin önemli bir bileşendir. L tipi, T tipi ve π tipi empedans eşleme ağları empedans eşleme ağ topolojilerinden bazılarıdır (Agrawal et al., 2014). Şekil 2'de 2 kademe Dickson gerilim çoklayıcı için 1800 MHz frekansında L tipi empedans uyumlama devresi ve Smith-chart gösterimi sunulmuştur.



Şekil 2. Tek-band empedans uyumlama örneği

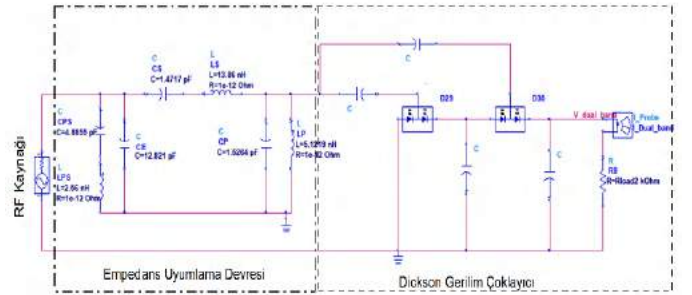
Çok bantlı RF enerji hasadında empedans uyumlama, her bir bant için ayrı ayrı empedans uyumlama yapılarak gerçekleştirilebileceği gibi (Agrawal et al., 2018; Keyrouz et al., 2013; Tafekirt et al., 2020; Uzun, 2015; Yalçın & Sari, 2021) her bantta uygun tepkiyi veren tek bir devre tasarlanabilir (Kim et al., 2013; J. Liu et al., 2020; Y. Liu et al., 2012; Papadopoulou et al., 2020; Saxena et al., 2019), Şekil 3.



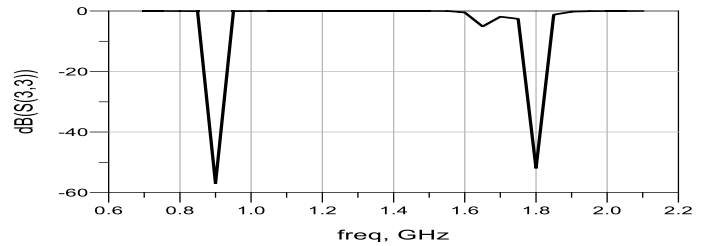
Şekil 4. Dickson gerilim çoklayıcı (a) devresi (b) Smith-chart gösterimi

Simülasyonu yapılan devrenin istenilen frekanslar için empedans değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir, burada Z_0 anten empedansını ifade etmektedir ve tasarımda 50Ω olarak alınmıştır.

900 MHz ve 1800 MHz frekansları için bulunan empedans değerleri, (Y. Liu et al., 2012)'de belirtilen C durumuna uymaktadır. Matlab ortamında empedans uyumlama devresinin indüktör ve kapasitör değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 2 kademeli Dickson gerilim çoklayıcı için elde edilen empedans uyumlama devresi ve yansıma katsayısı Şekil 5 ve 6'da sunulmuştur.

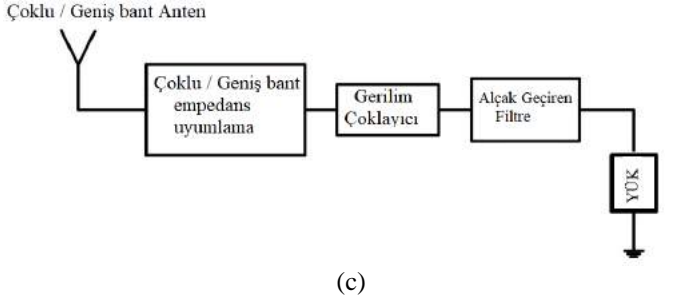
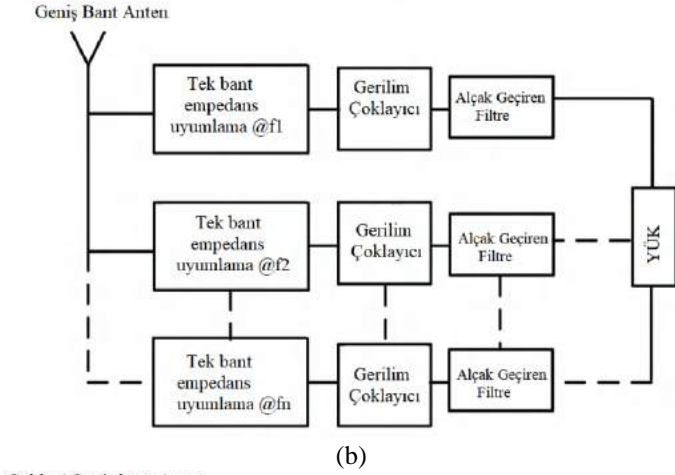


Şekil 5. Çift bantlı bütünleşik empedans uyumlama yapılmış devre



Şekil 6. Empedans uyumlama yapılan devrenin yansıma katsayısı

Şekil 6'da 900 MHz ve 1800 MHz için yükten kaynağa doğru olan yansımalar bastırılmıştır, böylece maksimum güç transferi gerçekleştirilebilecektir. Şekil 7'de çift bantlı bütünleşik empedans uyumu yapılmış devreye sadece 900 MHz, sadece 1800



Şekil 3. Çok bantlı RF enerji hasadı yapıları (a) tek bantlı anten ve tek bantlı empedans uyumlama kullanan (b) geniş bantlı bir anten ve tek bantlı empedans uyumlama kullanan ve (c) çok bantlı/geniş bant anten ve tek empedans uyumlama kullanan (Agrawal et al., 2018).

Bu çalışmada, Şekil 3 (c)'de gösterilen yapı incelenmiş ve Şekil 3 (a)'daki yapı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar 2 kademe Dickson gerilim çoklayıcı için yapılmıştır.

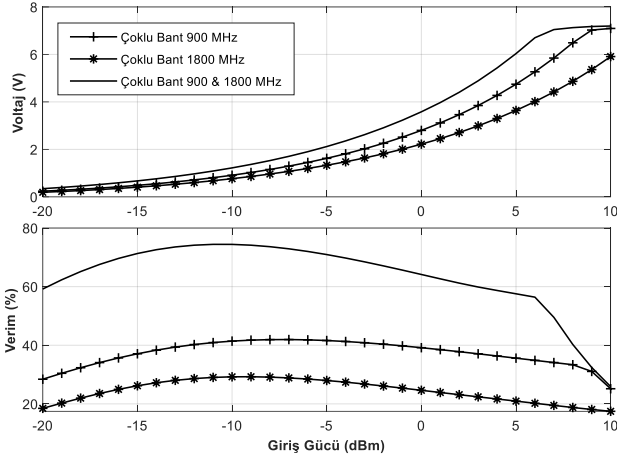
Şekil 3 (c)'deki empedans uyumunu sağlamak için (Y. Liu et al., 2012)'de matematiksel ifadeleri verilen indüktör ve kapasitörlerden oluşan, toplu öğeli devre (lumped circuit), çoklu bant empedans dönüştürücü hesaplanarak simülasyonu yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Araştırma Sonuçları

Çalışmada 2 aşamalı Dickson gerilim çoklayıcıda kullanılan kapasitör değerleri 100 pF ve yük direnci 20 k Ω seçilmiştir. İlk aşamada empedans uyumlama olmadığı durum için 900 MHz ve 1800 MHz için Smith-chart grafiği kullanılarak empedans değerleri bulunmuştur, Şekil 4.

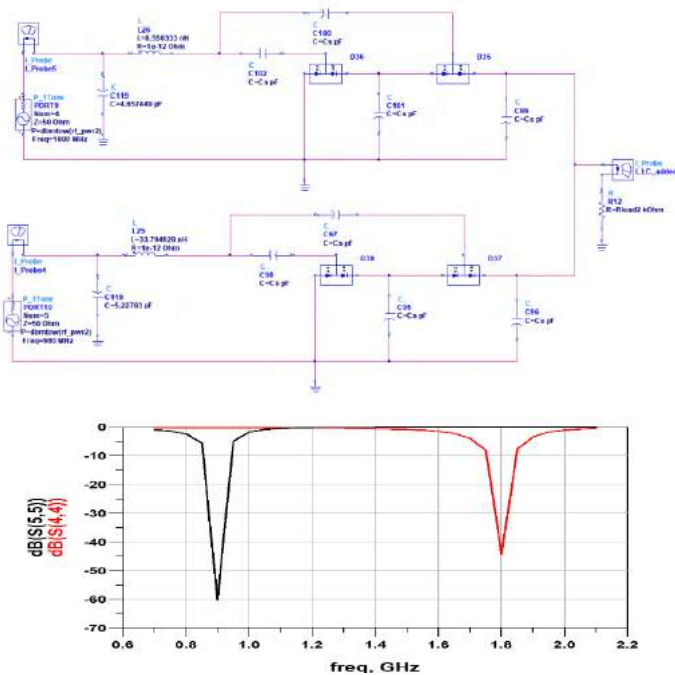
MHz ve her iki bant uygulanarak çıkış voltajı ve verimi analiz edilmiştir. RF enerji hasadında verim çıkış gücünün giriş gücüne oranıdır ve % ile ifade edilir.



Şekil 7. Çok bantlı tek empedans uyumlu RF enerji hasadı çıkış voltaj ve verimi

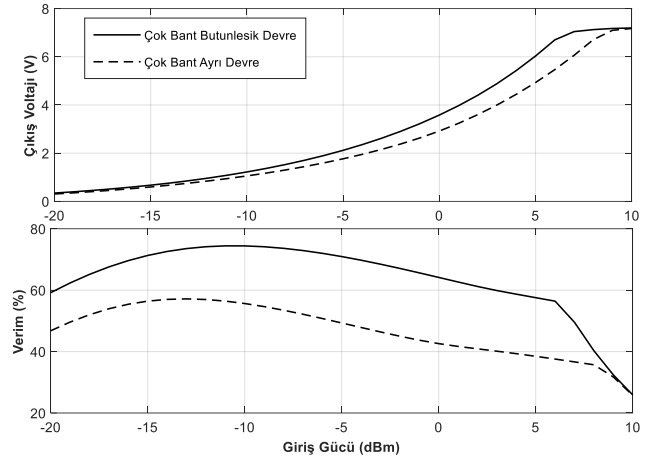
Şekil 7’de giriş gücü -20 ile 10 dBm aralığında alınmıştır. Çıkış voltajında, giriş gücü - 10 dBm’e kadar belirgin bir farklılık gözlenmemekle beraber - 10 dBm’den daha yüksek giriş gücünde en yüksek voltaj 900&1800 MHz beraber uygulandığında elde edilmiştir. 0 dBm giriş gücü için 900 MHz, 1800 MHz ve 900&1800 MHz için çıkış voltajları sırasıyla 2.8 V, 2.2 V ve 3.6 V olarak gözlemlenmiştir. Verim incelendiğinde ise 900 MHz için en yüksek verim - 7 dBm’de 41.947 %, 1800 MHz’de - 9 dBm’de 29.259 %, her iki frekans uygulandığında ise - 11 dBm’de 74.427 % olarak bulunmuştur. Bu sayede düşük giriş güçlerinde verim arttırılmıştır.

Her bir frekans için ayrı ayrı L tipi empedans uyumlama yapılarak birleştirilen devre ve yansıma katsayıları Şekil 8’de sunulmuştur. Bu yöntemde her bir frekans için empedans uyumlama devreleri ayrıdır.



Şekil 8. Çok bantlı ayrı ayrı empedans uyumlama yapılmış devre ve her bir frekans için yansıma katsayısı

İki kademeli Dickson gerilim çoklayıcı için, tek empedans uyumlama ve frekansa bağlı ayrı L tipi empedans uyumlama RF enerji hasadı çıkış voltaj ve verim sonuçları Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. Çok bantlı empedans uyumlama dereleri için voltaj ve verim değişimi

Şekil 9’da giriş gücüne bağlı olarak çıkış voltajlarında - 10 dBm’e kadar belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir, 0 dBm giriş gücü için tek empedans uyumlama için 3.582 V, her bir bant için L tipi empedans uyumlama için 2.919 V çıkış elde edilmiştir. Verim grafiğinde ise tek empedans uyumlama - 11 dBm giriş için 74.427 %, her bir bant için L tipi empedans uyumlama toplamda - 13 dBm de 57.159 % verim elde edilmiştir.

3.2. Tartışma

RF enerji hasadı, ortamda bulunan elektromagnetik sinyalleri kullanarak enerji üretmektedir. Bu çalışmada, ikili RF bantı için ADS programı kullanılarak çıkış voltaj ve verimleri incelenmiştir. Çift bantlı, 900 & 1800 MHz için RF enerji hasadı uygulamaları incelendiğinde, (Ho et al., 2016; Pham & Pham, 2013; Zeng et al., 2018), verim 62 % ile 80 % aralığında değişmektedir. Bu farklılıkların nedeni gerilim çoklayıcının kademe sayısı, kullanılan diyot türü ve farklı empedans uyumlama türleridir.

Bu çalışmada iki farklı tür çoklu RF enerji hasadının karşılaştırılması için gerilim çoklayıcıların kademeleri aynı seçilmiştir. İki frekans için L tipi empedans uyumlama ile birleştirilen yapının verim değerleri, iki frekans için tek uyumlama devresi tasarlandığı duruma göre daha düşüktür. Düşük giriş güçlerinde tek empedans uyumlama devresi yaklaşık olarak 20 % verim kazancı sağlamıştır. Lumped elemanlar kullanılarak tek empedans uyumlama tekniğinin veriminin 74.427 %’ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada ikili bant RF enerji hasadı için iki farklı empedans uyumlama devre türü karşılaştırılmıştır. Kullanılan elemanlar lumped elemanlardır. Seçilen frekanslar için kaynaktan yüke yansımaları bastıran empedans uyumlama devresi (Y. Liu et al., 2012)’deki denklemler yardımıyla bulunmuştur ve verim 74.427%’ye kadar yükseltilmiştir. İki bant ve her bir frekans için L tipi empedans uyumlama yapıldığında ise verim 57.159 % olarak bulunmuştur. İki frekansın tek bir empedans uyumlama ile birleştirildiği yapı düşük giriş gücü seviyelerinde L tipi empedans uyumlama göre 20% iyileştirme sağlamıştır.

Kaynakça

- Agrawal, S., Pandey, S. K., Singh, J., & Parihar, M. S. (2014). Realization of efficient RF energy harvesting circuits employing different matching technique. *Fifteenth International Symposium on Quality Electronic Design, c*, 754–761.
- Agrawal, S., Parihar, M. S., & Kondekar, P. N. (2018). A quad-band antenna for multi-band radio frequency energy harvesting circuit. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 85(October 2017), 99–107.
- Akhtar, F., & Husain, M. (2015). Energy replenishment using renewable and traditional energy resources for sustainable wireless sensor networks: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 769–784.
- Al-Azawy, M. M., & Sari, F. (2019). Analysis of Dickson Voltage Multiplier for RF Energy Harvesting. *2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)*, July, 10–14.
- Chaour, I., Fakhfakh, A., & Kanoun, O. (2017). Enhanced passive RF-DC converter circuit efficiency for low RF energy harvesting. *Sensors (Switzerland)*, 17(3), 1–14.
- David M. Pozar. (2011). *Microwave Engineering*. Wiley.
- Di Cataldo, G., & Palumbo, G. (1996). Design of an Nth order Dickson voltage multiplier. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 43(5), 414–418.
- Ho, D., Kharrat, I., Vuong, V. N. T., Nguyen, Q., & Le, M. (2016). *Dual-Band Rectenna for Ambient RF Energy Harvesting at GSM 900 MHz and 1800 MHz. 1*, 306–310.
- Keyrouz, S., Visser, H. J., & Tjihuis, A. G. (2013). Multi-band Simultaneous Radio Frequency Energy Harvesting. *2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Eucap*, 3058–3061.
- Kim, P., Chaudhary, G., & Jeong, Y. (2013). A Dual Band RF Energy Harvesting Using Frequency Limited Dual-Band Impedance Matching. *Progress In Electromagnetics Research*, 141(July), 443–461.
- Li, P., Long, Z., & Yang, Z. (2021). RF Energy Harvesting for Batteryless and Maintenance-Free Condition Monitoring of Railway Tracks. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(5), 3512–3523.
- Liu, J., Huang, M., & Du, Z. (2020). Design of Compact Dual-Band RF Rectifiers for Wireless Power Transfer and Energy Harvesting. *IEEE Access*, 8, 184901–184908.
- Liu, Y., Zhao, Y.-J., & Zhou, Y. (2012). Lumped Dual-Frequency Impedance Transformers for Frequency-dependent Complex Loads. *Progress In Electromagnetics Research*, 126(December 2011), 121–138.
- Lu, X., Wang, P., Niyato, D., Kim, D. I., & Han, Z. (2015). Wireless Networks With RF Energy Harvesting: A Contemporary Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(2), 757–789.
- Mantiply, E. D., Pohl, K. R., Poppell, S. W., & Murphy, J. A. (1997). Summary of measured radio frequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment. *Bioelectromagnetics*, 18(8), 563–577.
- Ozkaya, U., & Seyfi, L. (2015). Dimension optimization of microstrip patch antenna in X/Ku band via artificial neural network. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2520-2526.
- Rhea, R. (2006). *The Yin-Yang of Matching: Part 1 — Basic Matching*. Matching Networks.
- Papadopoulou, M. S., Boursianis, A. D., Skoufa, A., Volos, C. K., Stouboulos, I. N., Nikolaidis, S., & Goudos, S. K. (2020). Dual-Band RF-to-DC Rectifier with High Efficiency for RF Energy Harvesting Applications. *2020 9th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, 1–4.
- Pham, B. L., & Pham, A. V. (2013). Triple bands antenna and high efficiency rectifier design for RF energy harvesting at 900, 1900 and 2400 MHz. *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 13–15.
- Sari, F., & Uzun, Y. (2019). a Comparative Study: Voltage Multipliers for Rf Energy Harvesting System. *Commun.Fac.Sci.Univ.Ank.Series A2-A3*, 61(1), 12–23.
- Saxena, A., Banerjee, D., Hashmi, M., & Auyenur, M. (2019). A Dual-Band Impedance Transformer for Matching Frequency Dependent Complex Source and Load Impedances. *2019 15th Conference on Ph.D Research in Microelectronics and Electronics (PRIME)*, July, 173–176.
- Selim, K. K., Wu, S., Saleeb, D. A., & Ghoneim, S. S. M. (2021). A Quad-Band RF Circuit for Enhancement of Energy Harvesting. *Electronics*, 10(10), 1160.
- Tafekirt, H., Pelegri-Sebastia, J., Bouajaj, A., & Reda, B. M. (2020). A Sensitive Triple-Band Rectifier for Energy Harvesting Applications. *IEEE Access*, 8, 73659–73664.
- Tran, L. G., Cha, H. K., & Park, W. T. (2017). RF power harvesting: a review on designing methodologies and applications. *Micro and Nano Systems Letters*.
- Yalçın, A. B., & Sari, F. (2021). Efficiency Analysis For Triple Band Rf Energy Harvesting. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 5(1), 36–45.
- Zeng, M., Li, Z., Andrenko, A. S., Zeng, Y., & Tan, H. (2018). *Research Article A Compact Dual-Band Rectenna for GSM900 and GSM1800 Energy Harvesting. 2018*, 1–10.



Impact of Fe₃O₄/water on Natural Convection in Square Enclosure

Hayati Kadir Pazarlioglu^{1*}, Mutlu Tekir²

^{1*} Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9365-9431), hayatikadirpazarlioglu@gmail.com

² Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Medical Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2289-7034), mutlutekir@karabuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010066)

ATIF/REFERENCE: Pazarlioglu, H. K., & Tekir, M. (2021). Impact of Fe₃O₄/water on Natural Convection in Square Enclosure, (28), 675-683.

Abstract

Natural convection characteristics in a 2D square enclosure (10 mm x 10 mm) have been investigated detailly under natural convection conditions ($10^3 \leq Gr \leq 10^5$). A model has been developed to analyze the dispersed nanoparticle effect on natural convection performance in an enclosure. The left vertical wall is maintained at a high temperature, while the right vertical wall is kept at a low temperature, whereas horizontal walls are assumed to be insulated. Fe₃O₄/water ($0 \leq \phi \leq 1.0$) nanofluid has been utilized to analyze the convection enhancement in the enclosure. To elucidate flow characteristics and heat transfer performance of Fe₃O₄/water nanofluid, temperature, velocity streamline, and vorticity contours have been taken place. It is concluded that nanoparticle dispersion in base fluid enhances the natural convection heat transfer. Also, Grashof number has an important role in heat transfer mechanism.

Keywords: Natural convection, enclosure, Grashof number, Fe₃O₄/water, nanofluid, CFD

Kare Kutu İçinde Fe₃O₄/Su'nun Doğal Konveksiyona Etkisi

Öz

Doğal konveksiyon altında ($10^3 \leq Gr \leq 10^5$) 2D kutu içindeki (10 mm x 10 mm) Fe₃O₄/water karakteristiği detaylı olarak incelenmiştir. Modelimiz bir kutu içinde doğal konveksiyonun nano akışkanın varlığı durumunda analiz etmek için geliştirilmiştir. Sol duvar sıcak duvar, sağ duvar soğuk sıcaklıkta sabit tutulurken, yatay duvarlar yalıtımlı olarak tutulmuştur. Fe₃O₄/water ($0 \leq \phi \leq 1.0$) nanoakışkanı kutu içindeki konvektif iyileştirmeyi analiz etmek için kullanılmıştır. Fe₃O₄/water nanoakışkanının akış karakteristiğini ve ısı transferi performansı analiz etmek için sıcaklık eş eğrisi, hız akış çizgisi ve girdap akış çizgisi oluşturulmuştur. Sonuç olarak, baz akışkan içine nanoakışkan karıştırılması doğal konveksiyonu iyileştirmektedir. Ayrıca Grashof sayısı ısı transferi mekanizmasında önemli bir role sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Doğal konveksiyon, kutu, Grashof sayısı, Fe₃O₄/su, nanofluid, HAD

* Corresponding Author: xxxx@xxx.xx.xx

1. Introduction

Natural convection occurs due to temperature gradient and is mostly encountered as a type of heat transfer mechanism in the industry. Buoyancy-driven natural convection takes place in reactor chambers of nuclear power plants, microelectronics cooling [1], solar air heaters [2], large-scale meteorology [3,4]. Kim et al. [5] investigated the natural convection in a square enclosure numerically using immersed boundary method. The cylinder has been heated in the enclosure and natural convection took place under $10^3 \leq Ra \leq 10^7$ conditions. It is seen that vortex generation in the enclosure and the height of the cylinder are related. Bhattacharya and Basak [6] studied the natural convection in a square enclosure with a non-isothermal hot bottom wall, isothermal sidewalls, and insulated top wall. Under the conditions of $10^2 \leq Ra \leq 10^6$ steady-state numerical analyses have been accomplished, and flow structures have been visualized. It is understood that increasing Rayleigh number (Ra) has a greater effect on the convective heat transfer rate. Hadidi et al. [7] investigated the natural convection in an inclined square enclosure. The effects of the thickness of a porous layer, Rayleigh number, buoyancy ratio, Lewis number, cavity inclination angle, and the thermal conductivity ratio on the heat transfer performance have been examined in detail. It is concluded that Rayleigh number, cavity inclination angle, and thermal conductivity have a stronger effect on heat transfer rate in comparison with other parameters used in this study. Also, Liang et al. [8] studied the inclined square enclosure between -90° and 90° with 15° intervals under the conditions of $10^3 \leq Ra \leq 10^7$. It is found out that stronger vortices occurred when heated wall moved from top to bottom wall. Subhani [9] researched the natural convection in a square enclosure with a hot cylinder in the center of the enclosure and cold winglets around it. Winglets increased vorticity in the enclosure and caused higher heat transfer. The best enhancement in heat transfer has been obtained with the winglets at 45° degrees. Sheikholeslami and Shamlooei [10] carried out a study to understand behaviour of Fe_3O_4 /water nanofluid under natural convection with thermal radiation. Uniform and constant heat flux has been applied to inner wall. The working range of this study is $10^3 \leq Ra \leq 10^5$. Control volume based finite element method has been utilized to perform a study. It is concluded that the usage of thermal radiation has weaker effect in natural convection by using Fe_3O_4 /water nanofluid. Dogonchi and Hashim [11] studied a wavy circular shape enclosure under natural convection to determine the effect of several parameters such as Rayleigh number ($10^3 \leq Ra \leq 10^5$), radiation parameter ($0 \leq Rd \leq 0.3$), the shape factor of nanoparticles ($m=3, 4.8, 5.7$), the volumetric concentration of Fe_3O_4 /water (2%, 4%). It is determined that the usage of a higher volumetric concentration with a higher Rayleigh number presents a higher convective heat transfer rate. Sheikholeslami et al. [12] performed natural convection with Coulomb forces to detect the effect of Coulomb force in existence of thermal radiation by using Fe_3O_4 /water nanofluid. Likewise, other researchers mentioned, in this study determined that the presence of thermal radiation has weaker effect on convective heat transfer rate under natural convection [10,11]. Moraveji and Hejazian [13] carried out an investigation heat transfer effect of Fe_3O_4 /water nanofluid in rectangular cavity under natural convection. To determine the heat transfer effect, the range of Rayleigh number and volumetric concentration of nanoparticles has been applied as $10^3 \leq Ra \leq 10^5$, $0 \leq \varphi \leq 14\%$, respectively. While the magnitude of Rayleigh number

presents positive effect in heat transfer rate, addition of nanoparticles to base fluid establishes a negative effect for this study.

Even though natural convection in a square enclosure has been widely investigated in the literature, using nanofluid as working fluid has not been studied detailedly and more data presented in this manuscript is going to provide detailed insight on the heat transfer enhancement mechanisms in the enclosure to the literature.

2. Material and Method

2.1. Problem Description and Mathematical Formulas

In this study, a 2D enclosure has been designed to investigate the buoyancy effect of Fe_3O_4 /water under natural convection. The dimensions and boundary conditions of the calculation domain can be seen in Fig. 1. As can be seen in Fig. 1, while the left wall (T_H) is kept at higher temperature condition, which is changing with Grashof (Gr) number, the right wall is also kept at constant lower temperature condition ($T_L=298$ K). Also, the top and bottom walls are in an insulated wall condition, which leads to an impermeable situation. The working fluid has been considered Newtonian and incompressible. The nanoparticle has been taken in uniform sizes and well dispersed in the base fluid. So, it is noted that the nanofluid and water have been assumed at the same velocity and in thermal equilibrium. Since the nanoparticle dispersion in base water disperses homogeneously, the computational domain has been modelled using the single-phase approach [14]. Also, the thermophysical properties of both water and Fe_3O_4 /water nanofluid have been taken as constant, and the thermal expansion coefficient has been modelled with Boussinesq approximation.

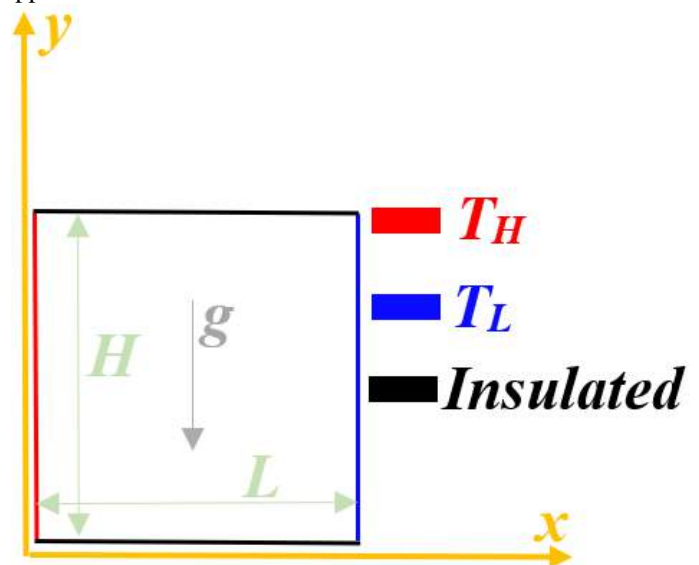


Fig. 1. Schematic of study

Regarding these phenomena, the boundary and initial conditions have been adjusted as below:

$$u = 0, v = 0, T = 0 \quad @ \quad 0 \leq x \leq L, \quad 0 \leq y \leq H, \quad t = 0$$

$$u = 0, v = 0, \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad @ \quad 0 \leq x \leq L, \quad y = 0 \text{ and } y = H, \quad 0 \leq t \leq \tau$$

$$u = 0, v = 0, T = T_H \quad @ \quad x = 0, \quad 0 \leq y \leq H, \quad 0 \leq t \leq \tau$$

$$u = 0, v = 0, T = T_L \quad @ \quad x = L, \quad 0 \leq y \leq H, \quad 0 \leq t \leq \tau$$

By using these boundary conditions above-mentioned, the governing equations have been calculated in dimensional form as following:

Continuity equation:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Momentum equation:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} x \frac{\partial P}{\partial x} + \nu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} x \frac{\partial P}{\partial y} + \nu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta_{nf} g (T - T_c) \tag{3}$$

Energy equation:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

Also, the nanofluid thermo-physical properties can be calculated as below. Also, thermo-physical properties of nanoparticle and base fluid are given in Table 1.

Density [15]:

$$\rho_{nf} = \phi \rho_{np} + (1 - \phi) \rho_{bf} \tag{5}$$

Specific heat [16]:

$$C_{p,nf} = \frac{\phi (\rho C_p)_{np} + (1 - \phi) (\rho C_p)_{bf}}{\rho_{nf}} \tag{6}$$

Viscosity [17]:

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} (123\phi^2 + 7.3\phi + 1) \tag{7}$$

Thermal conductivity [18]:

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{(k_{np} + 2k_{bf}) - 2\phi(k_{bf} - k_{np})}{(k_{np} + 2k_{bf}) + \phi(k_{bf} - k_{np})} \tag{8}$$

Thermal expansion coefficient [19]:

$$(\rho\beta)_{nf} = (1 - \phi)(\rho\beta)_{bf} + \phi(\rho\beta)_{np} \tag{9}$$

Grashof number can be calculated as following [20]:

$$Gr = \frac{g \beta_f \Delta T H^3}{\nu_f^2} \tag{10}$$

where ΔT is the temperature difference between hot wall and cold wall. H is the height of the enclosure. ν is kinematic viscosity.

Table 1. Thermophysical properties of medium [21].

Property	Water	Fe ₃ O ₄
C_p	4179	670
ρ	997.1	5200
k	0.6	6
β	2.1×10^{-4}	1.3×10^{-5}

Then, the local Nusselt and average Nusselt numbers can be calculated with Eq. (11) and Eq. (13).

$$Nu = \frac{Q}{Q_{cond,fluid}} = -\frac{(k_{eff})_{stagnant}}{k_f} \frac{\partial \theta}{\partial x} \tag{11}$$

where,

$$Q = -\left(k_{eff}\right)_{stagnant} A \frac{\partial T}{\partial x} \tag{12}$$

$$\overline{Nu} = \int_0^L Nu(y) dy / L \tag{13}$$

2.2. Mesh study and Validation

The present study has been calculated by using ANSYS Fluent v2020R2. The computational study has been applied by using SIMPLE pressure-velocity coupling model with second-order upwind scheme. All convergency criteria have been reached 10^{-8} approximation value. Also, Least-Squares Gradient scheme has been utilized in spatial discretization for the gradient. The finite volume method (FVM) has been utilized for all computations. All these procedures have been carried out in both water and nanofluid steps.

Before starting analyses, the mesh study should be performed to obtain better results in the numerical study. Also, all mesh studies have been applied at highest Gr number. As can be seen in Table 2, in order to decide the optimum mesh structure, several mesh studies have been done. From the calculations, it is concluded that there is no significant difference between M4 and M5 in terms of average Nusselt number so M4 has been selected as the optimum mesh structure. The typical mesh structure is presented in Fig. 2.

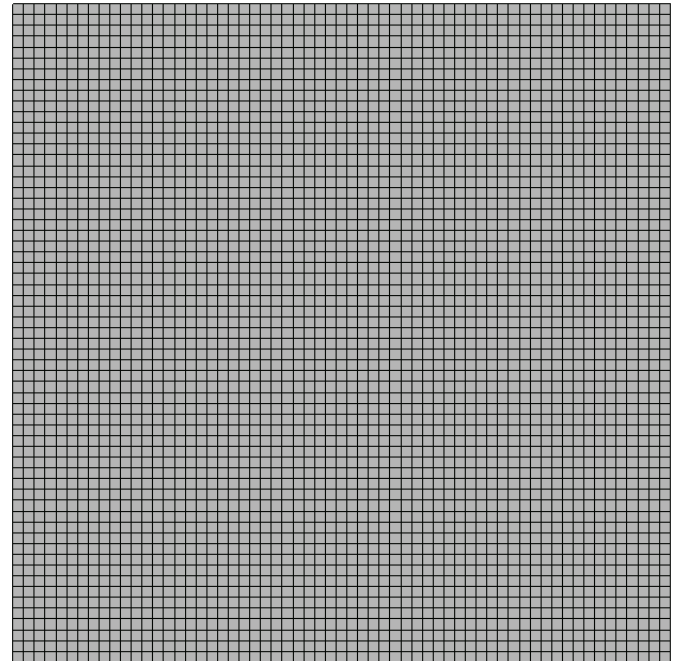


Fig. 2. Mesh structure for the enclosure.

Table 2. Mesh study for $Gr=10^5$

Mesh No	Mesh	Avg. Nu (Present study)
M1	11x11	6.158
M2	31x31	7.121
M3	41x41	7.982
M4	61x61	8.256
M5	71x71	8.467
M6	81x81	7.992

For the second step, the numerical domain should be validated with a study published in the literature in the same boundary conditions. For this purpose, numerical results have

been validated with the data obtained from Khanafer et al. [20]. Comparison of streamlines between the present study and that of Khanafer et al. is given in Fig. 3. Also, numerical values have been compared Table 3. It is concluded from Table 3 that the maximum deviation between the present study and data of Khanafer et al. [20] is 8.06%, so the present computational domain is under acceptable conditions for further studies.

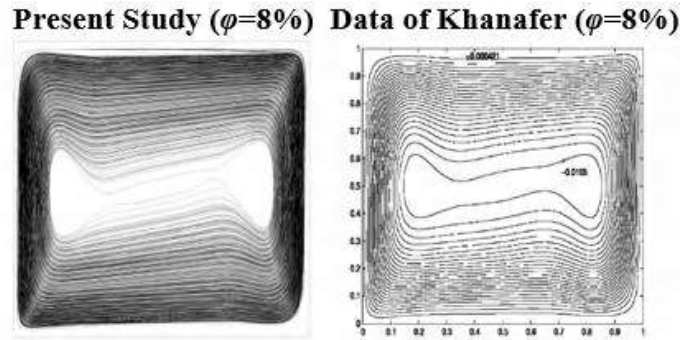


Fig. 3. Comparison of streamlines between the present study and that of Khanafer et al. [20] ($\phi=8\%$ for Cu/water).

Table 3. Validation of present study with the literature [20].

ϕ %	Present Study			Correlation of Khanafer et al. [20]			Deviation %		
	$Gr=10^3$	$Gr=10^4$	$Gr=10^5$	$Gr=10^3$	$Gr=10^4$	$Gr=10^5$	$Gr=10^3$	$Gr=10^4$	$Gr=10^5$
0	1.9369	4.1047	8.256	1.9768	4.0574	8.3282	2.0573	1.1514	0.8746
4	2.09576	4.41359	8.8407	2.1141	4.3394	8.9070	0.8765	1.6804	0.7500
8	2.33518	4.87389	9.72715	2.2673	4.6539	9.5526	2.90	4.5129	1.7947
12	2.5779	5.33935	10.6309	2.4272	4.9820	10.226	5.84	6.6923	3.8087
16	2.80433	5.7725	11.4789	2.5915	5.3192	10.918	7.58	7.851	4.8848
20	3.0012	6.14829	12.2193	2.7592	5.6634	11.625	8.06	7.8861	4.8665

3. Results and Discussion

In this study, natural convection inside a square enclosure with a hot left wall, a cold right wall, and adiabatic top and bottom walls have been examined.

Table 4 depicts the average Nusselt number enhancements using Fe_3O_4 /water nanofluid. Under natural convection condition, the effect of volumetric concentrations of nanofluid on heat transfer performance is weaker. 1.0% volumetric concentrations of nanofluid offers up to 0.74% enhancement, whereas enhancements of lower volumetric concentrations compared to distilled water are indistinctive. Enhancement obtained by using 1.0% volumetric concentrations of nanofluid in average Nusselt number takes place because of increment in thermal conductivity

of working fluid. Also, higher Gr causes higher average Nusselt number for all cases.

Fig. 4 shows the local Nusselt number across the length of the hot wall using 1.0 vol.% Fe_3O_4 /water nanofluid. The convection heat transfer rates are higher at lower portions of the hot wall. As the temperature of the fluid increases along the vertical length of the hot wall, the temperature gradient decreases and the heat transfer rate also diminishes. As Gr increases, the heat transfer rates increase.

Fig. 5 shows the local temperature across the axial length between the hot and cold walls using distilled water and Fe_3O_4 /water nanofluids as a working fluid.

Table 4. Average Nusselt number variations for different Grashof numbers and nanoparticle volume fraction ($NPVF$) for present study (Fe_3O_4 /water)

ϕ (%)	$Gr=10^3$	$Gr=10^4$	$Gr=10^5$	Enhancement (%) for $Gr=10^3$	Enhancement (%) for $Gr=10^4$	Enhancement (%) for $Gr=10^5$
0	1.9369	4.1047	8.256	-	-	-
0.01	1.93939	4.11302	8.26565	0.1286	0.2027	0.1169
0.1	1.93992	4.11391	8.26735	0.1560	0.2244	0.1375
1	1.95099	4.13506	8.30822	0.7275	0.7396	0.6325

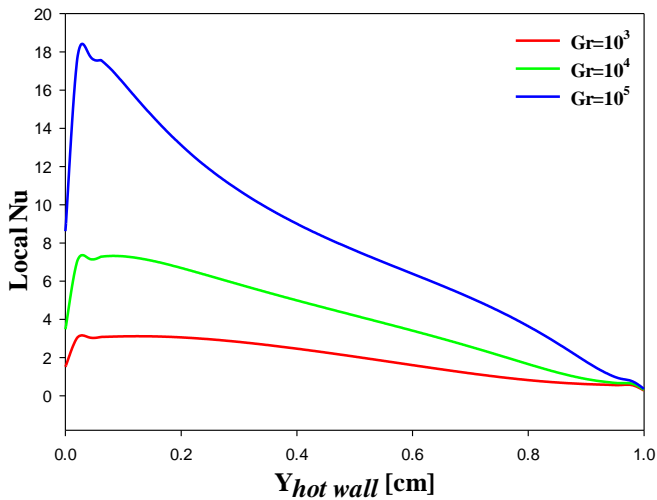


Fig. 4. Local Nusselt number distribution on the hot wall for $\phi=1\%$.

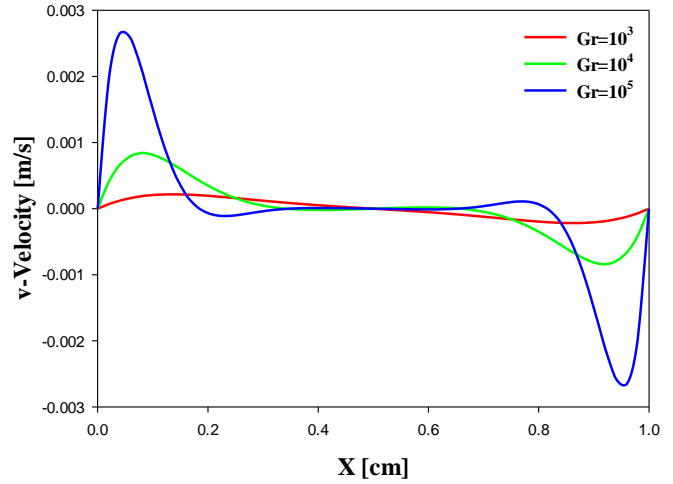


Fig. 6. Local v-Velocity distribution along the axial length for $\phi=1\%$.

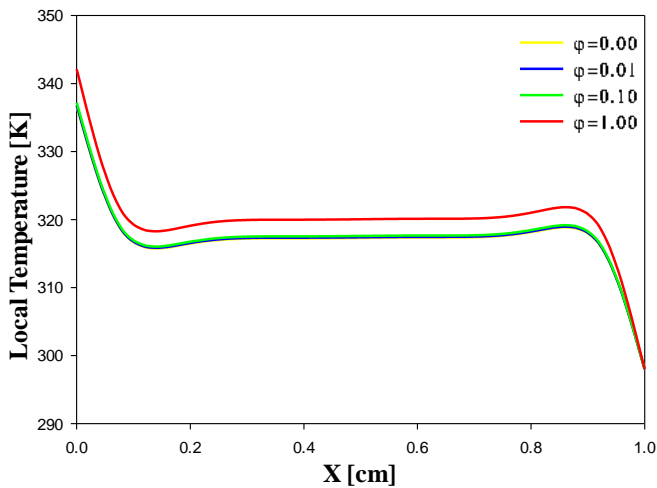


Fig. 5. Local temperature distribution along the axial length for $Gr=10^5$

As expected, nanofluid with higher volumetric concentrations offers higher temperature fluctuations. As the heat transfer occurs from the hot wall, temperatures at the axial lengths where it is closer to the hot wall are higher, whereas temperatures where it is closer to the cold wall are lower. Fig. 6 depicts the vertical velocity distribution along the axial length between the hot and cold walls. As the temperature gradient between the hot and cold walls increases, vertical velocity increases due to enhanced buoyancy-driven forces with higher Gr .

Fig. 7 shows the temperature contours across the enclosure. Firstly, it is concluded that higher Gr contributes positively to the natural convection in the enclosure and higher volumetric concentrations are seen in a higher temperature gradient. Temperature contours of lower volumetric concentrations are similar as this situation. It shows why researchers study with higher volumetric concentrations of nanofluids in natural convection problems [13]. Fig. 8 represents the velocity contours across the enclosure. As the volumetric concentration of the nanofluid or Gr increase, velocity magnitudes increase because of higher buoyancy-driven forces. This mechanism is also reflected in vorticity contours illustrated in Fig. 9. Higher Gr and volumetric concentration of the nanofluid cause higher vorticity magnitudes.

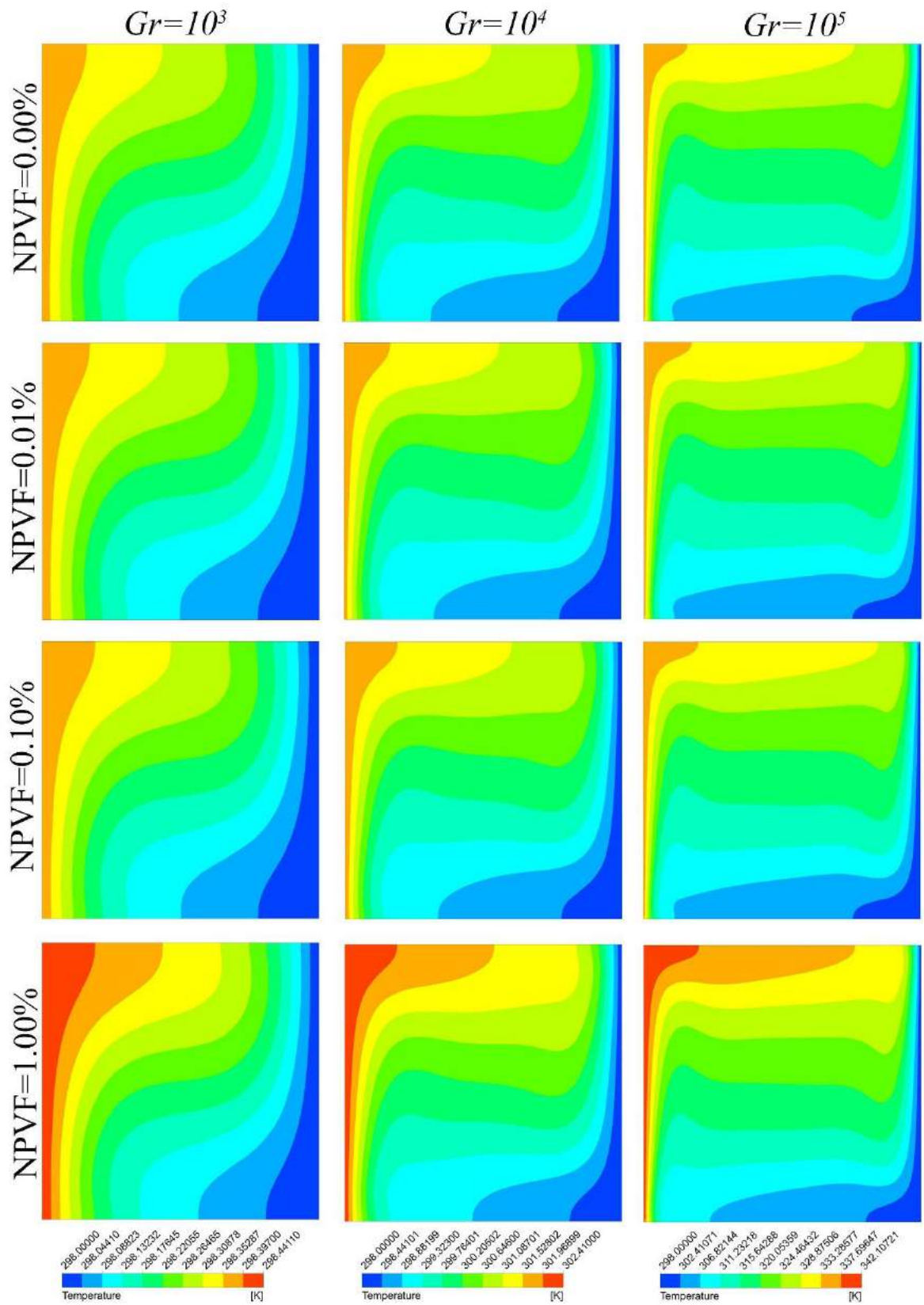


Fig. 7. Temperature contours for all cases.

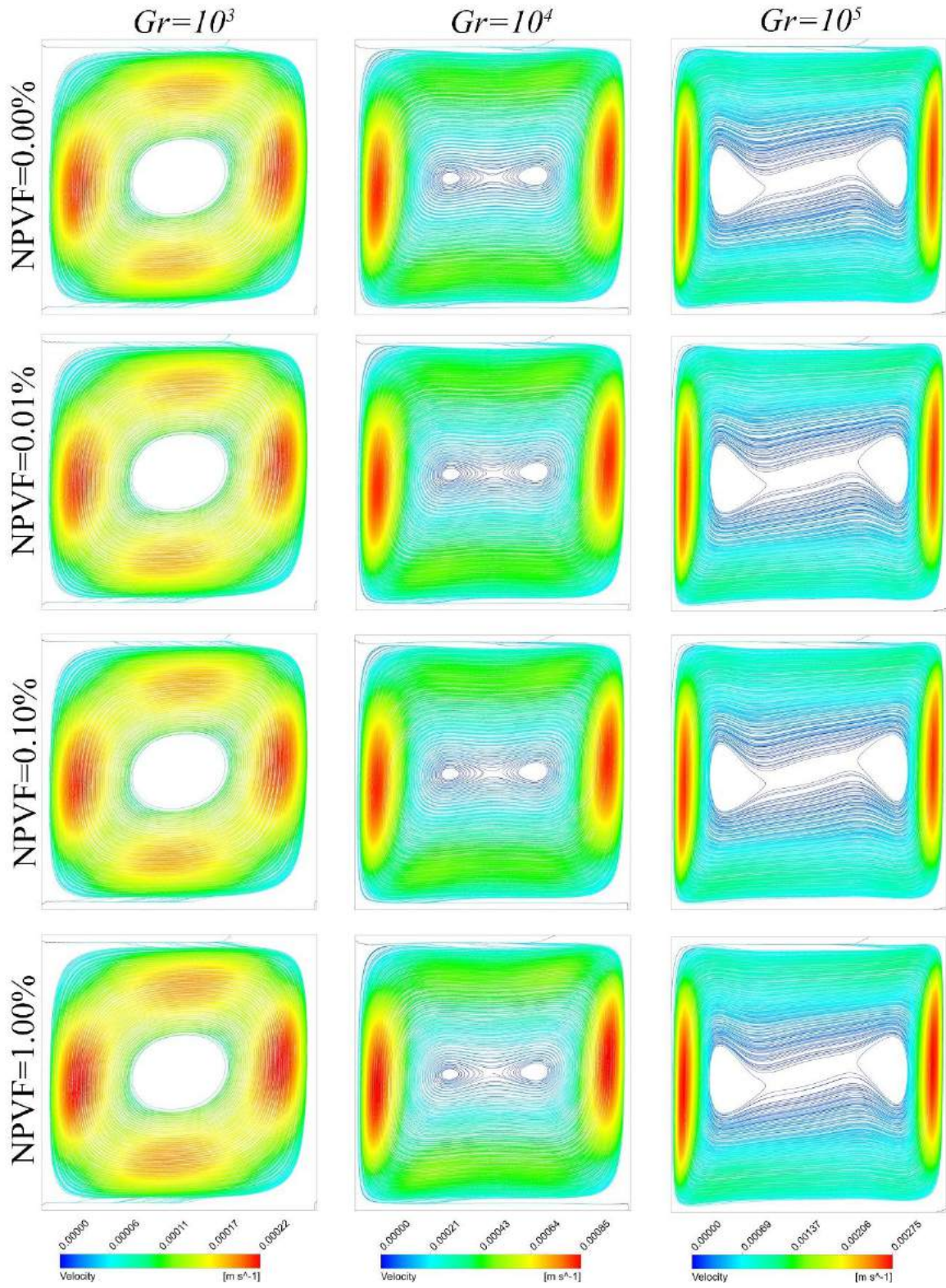


Fig. 8. Velocity streamlines for all cases.

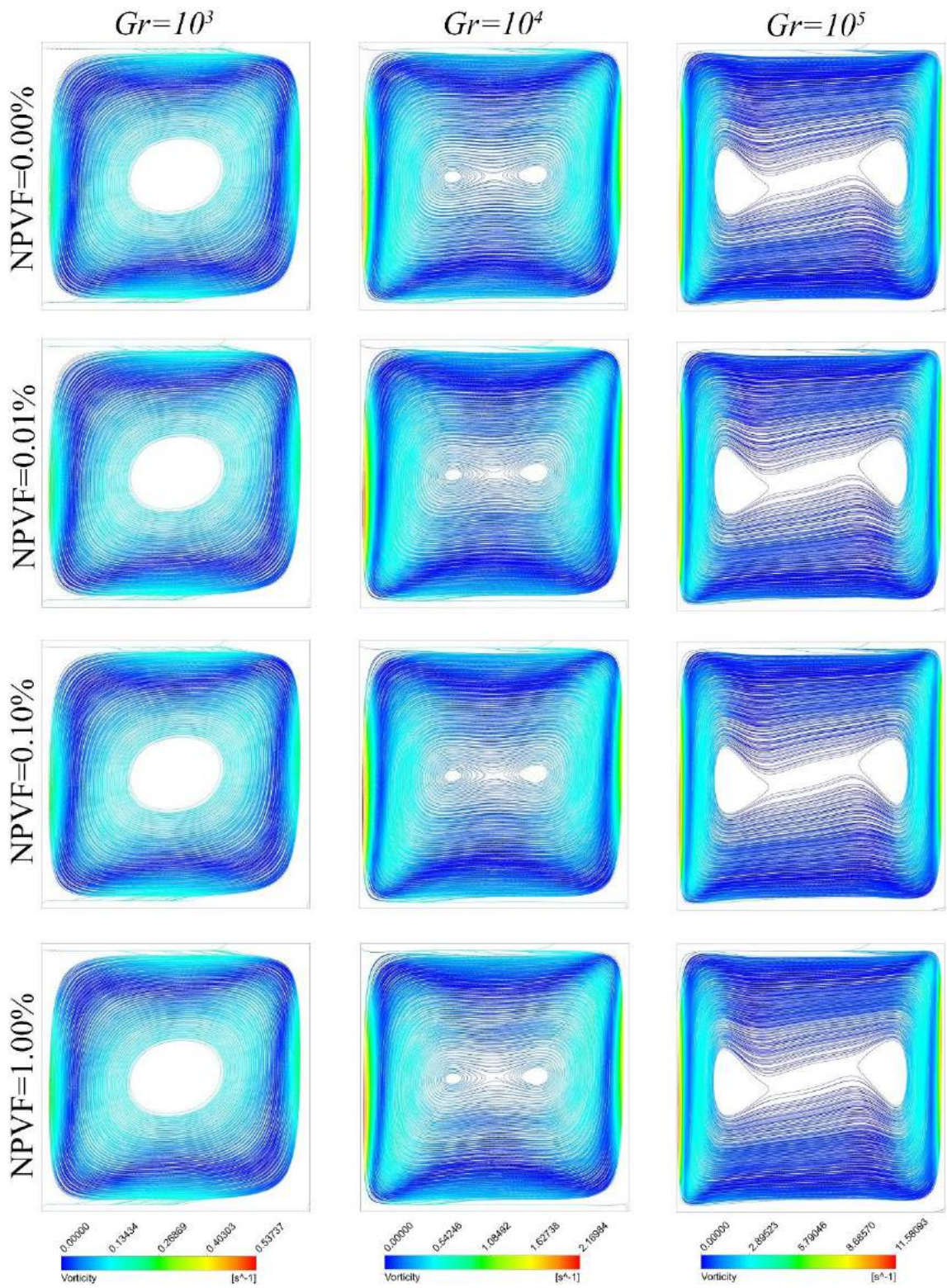


Fig. 9. Vorticity streamlines for all cases.

4. Conclusions and Recommendations

The natural convection heat transfer characteristics of nanofluid flow in a square enclosure have been examined under the conditions of $10^3 \leq Gr \leq 10^5$.

- Temperature distribution across the enclosure increases with increasing volumetric concentrations of nanofluid.
- Higher Gr number and volumetric concentrations of nanofluid cause higher local Nusselt number, vertical velocity, and vorticity magnitudes.
- Higher heat transfer rates are obtained at the lower portions of the hot wall due to the greater temperature difference between the hot wall and the medium.
- As Gr number increases, flow structures develop in enclosure.

References

- [1] Savio, R. R., Shaik, S., & Kumar, R. S. (2021). Numerical study of natural convection around a square cylinder within a square enclosure for different orientations. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-15.
- [2] Singh, A. P., Kumar, A., & Singh, O. P. (2021). Natural convection solar air heater: Bell-mouth integrated converging channel for high flow applications. *Building and Environment*, 187, 107367.
- [3] Pera, L., & Gebhart, B. (1973). Natural convection boundary layer flow over horizontal and slightly inclined surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 16(6), 1131-1146.
- [4] Jones, H., & Marshall, J. (1993). Convection with rotation in a neutral ocean: A study of open-ocean deep convection. *Journal of Physical Oceanography*, 23(6), 1009-1039.
- [5] Kim, B. S., Lee, D. S., Ha, M. Y., & Yoon, H. S. (2008). A numerical study of natural convection in a square enclosure with a circular cylinder at different vertical locations. *International journal of heat and mass transfer*, 51(7-8), 1888-1906.
- [6] Bhattacharya, M., & Basak, T. (2021). Analysis of multiple steady states for natural convection of Newtonian fluids in a square enclosure. *Physics of Fluids*, 33(10), 103605.
- [7] Hadidi, N., Rebhi, R., Bennacer, R., Menni, Y., Ameer, H., Lorenzini, G., ... & Ahmad, H. (2021). Thermosolutal natural convection across an inclined square enclosure partially filled with a porous medium. *Results in Physics*, 21, 103821.
- [8] Liang, X., Zhang, H., & Tian, Z. (2021). A fourth-order compact difference algorithm for numerical solution of natural convection in an inclined square enclosure. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 80(6), 255-290.
- [9] Subhani, S. (2021). Natural Convection Heat Transfer Enhancement of Circular Obstacle within Square Enclosure. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-19.
- [10] Sheikholeslami, M., & Shamlooei, M. (2017). Fe₃O₄-H₂O nanofluid natural convection in presence of thermal radiation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(9), 5708-5718.
- [11] Dogonchi, A. S. (2019). Heat transfer by natural convection of Fe₃O₄-water nanofluid in an annulus between a wavy circular cylinder and a rhombus. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 320-332.
- [12] Sheikholeslami, M., Shehzad, S. A., & Kumar, R. (2018). Natural convection of Fe₃O₄-ethylene glycol nanofluid under the impact of electric field in a porous enclosure. *Communications in Theoretical Physics*, 69(6), 667.
- [13] Moraveji, M. K., & Hejazian, M. (2013). Natural convection in a rectangular enclosure containing an oval-shaped heat source and filled with Fe₃O₄/water nanofluid. *International communications in heat and mass transfer*, 44, 135-146.
- [14] Gürdal, M., Pazarlıoğlu, H. K., Tekir, M., Arslan, K., & Gedik, E. (2021). Numerical Investigation on Turbulent Flow and Heat Transfer Characteristics of Ferro-Nanofluid Flowing in Dimpled Tube under Magnetic Field Effect. *Applied Thermal Engineering*, 117655.
- [15] Pak, B. C., & Cho, Y. I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 11(2), 151-170.
- [16] Xuan, Y., & Roetzel, W. (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of heat and Mass transfer*, 43(19), 3701-3707.
- [17] Wang, X., & Xu, X. S. U. S. Choi S., 1999, ". Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture, 474-480.
- [18] Hamilton, R. L., & Crosser, O. K. (1962). Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems. *Industrial & Engineering chemistry fundamentals*, 1(3), 187-191.
- [19] Alsabery, A. I., Gedik, E., Chamkha, A. J., & Hashim, I. (2020). Impacts of heated rotating inner cylinder and two-phase nanofluid model on entropy generation and mixed convection in a square cavity. *Heat and Mass Transfer*, 56(1), 321-338.
- [20] Khanafer, K., Vafai, K., & Lightstone, M. (2003). Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids. *International journal of heat and mass transfer*, 46(19), 3639-3653.
- [21] Ghaffarpassand, O. (2016). Numerical study of MHD natural convection inside a sinusoidally heated lid-driven cavity filled with Fe₃O₄-water nanofluid in the presence of Joule heating. *Applied Mathematical Modelling*, 40(21-22), 9165-9182.



Dielectric Analysis of High Voltage Equipment via 3D Partial Discharge Signal Graphics

Tuba Nur Serttaş^{1*}, Fatih Serttaş²

^{1*} Afyon Kocatepe University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, Afyonkarahisar, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6596-7162), tngul@aku.edu.tr

² Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Afyonkarahisar, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3109-716X), fserttas@aku.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010151)

ATIF/REFERENCE: Serttaş, T. N. & Serttaş, F. (2021). Dielectric Analysis of High Voltage Equipment via 3D Partial Discharge Signal Graphics. *European Journal of Science and Technology*, (28), 684-689.

Abstract

Partial discharge (PD) is a very critical phenomenon for high voltage engineering. Accurate measurements and detailed analysis of PD's are necessary to have a reliable electrical system. Therefore, the aim of obtaining graphics of PD signals is to visualize PD's to solve and analyze trend points. Unfiltered and scattered partial discharge signals cause false observations even though these are rigorously measured and calculated. Conventional graphic obtaining methods have some drawbacks, such as ignoring intensity areas that are significant to identify trend areas, misrepresenting the sequential partial discharge signals following each other, and causing high costs. In this sense, this paper proposes an improved and practical method using a multi-paradigm numerical computing programming language without needing expensive methods and tools. High voltage power cables are tested in the laboratory to record digital time-based PD signals. The experimentally measured PD data are converted into 2D and 3D graphics with the proposed technique. In this context, 2D and 3D graphics are compared, and the process of creating 3D graphics is explained. Consequently, the data becomes easy to understand and define with 3D graphics obtained using the method.

Keywords: Partial discharge, 3D analysis, High voltage, Power cable, Graphical modeling.

3D Kısmi Deşarj Sinyal Grafikleri ile Yüksek Gerilim Ekipmanlarının Dielektrik Analizi

Öz

Kısmi deşarj (PD), yüksek voltaj mühendisliği için çok kritik bir olgudur. Güvenilir bir elektrik sistemine sahip olmak için doğru ölçümler ve PD'lerin ayrıntılı analizi gereklidir. Bu nedenle, PD sinyallerinin grafiklerini elde etmenin amacı, trend noktalarını çözmek ve analiz etmek için PD'leri görselleştirmektir. Filtrelenmemiş ve saçılmış kısmi deşarj sinyalleri, titizlikle ölçülüp hesaplanırsa bile yanlış gözlemlere neden olur. Konvansiyonel grafik elde etme yöntemlerinin, trend alanlarını belirlemede önemli olan yoğunluk alanlarının göz ardı edilmesi, birbirini takip eden ardışık kısmi deşarj sinyallerini yanlış temsil etmesi ve yüksek maliyetlere neden olması gibi bazı dezavantajları vardır. Bu bağlamda, bu makale, pahalı yöntem ve araçlara ihtiyaç duymadan çok paradigmatmalı sayısal hesaplama programlama dilini kullanan gelişmiş ve pratik bir yöntem önermektedir. Yüksek voltajlı güç kabloları, dijital zama na dayalı PD sinyallerini kaydetmek için laboratuvarında test edilir. Önerilen teknikte deneysel olarak ölçülen PD verileri 2B ve 3B grafiklere dönüştürülür. Bu kapsamda 2D ve 3D grafikler karşılaştırılmakta ve 3D grafik oluşturma süreci anlatılmaktadır. Sonuç olarak, yöntem kullanılarak elde edilen 3 boyutlu grafiklerle verilerin anlaşılması ve tanımlanması kolay hale gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kısmi deşarj, 3D analiz, Yüksek gerilim, Güç kablosu, Grafik modelleme.

* Corresponding Author: tngul@aku.edu.tr

1. Introduction

Partial discharges in high voltage equipment are crucial methods to detect and identify defects and deterioration that can make equipment operational. Gas-filled cavities in dielectrics contribute to their defects. Stress causes a non-uniform electric field that causes condensation, micro-channels, afforestation, and thus complete deterioration. Cavities cannot always be avoided due to manufacturing processes or during service, so their harmful effects must be investigated to protect the insulation of high voltage equipment (Negm et al., 2016). These crucial methods have become a necessity with increasing voltage levels and energy demand today (Yiğit et al., 2021).

Although there are many methods of obtaining partial discharge measurements, the common aim of these methods is to show partial discharge signals without noises in a particular or general region. Detectability of these instant signals, which usually appears at 50-60 Hz as a general standard, is subject of the measurement tools and methods, but we currently need extra software and probes to make it clear for people interested in partiality discharges (Schwarz et al., 2005).

Detection of PD is the first step of data acquisition, analysis, and imaging processes. Appropriately, this first step contains much information about the faults. With these traces, academics and engineers can more precisely analyze the faults and identify the problem (Kania et al., 2007).

PRPD displays the PD movements of the object in the test system over a specified period for each pulse, using the phase of PD occurrences and the load magnitude (Farahani et al., 2005). The phase axis consists of one complete cycle of the applied voltage, while the PD charge magnitude axis forms the detected magnitude range. PD data within a certain number of applied voltage cycles are plotted on the x-axis of a voltage cycle. Thus, a PRPD model shows PD occurrences in a given phase of the applied voltage with a given load magnitude within a given number of applied voltage cycles (Forssén, 2008; Fruth & Niemeyer, 1992).

This paper proposes an improved and practical method using a multi-paradigm numerical computing programming language, with no need for expensive methods and tools. High voltage power cables are tested in the laboratory to record digital time-based PD signals. The experimentally measured PD data are converted into 2D and 3D graphics with the proposed technique. A band-pass filter and Wavelet de-noising technique are applied to the raw PD data. After the filtering and de-noising process, PD signals are scaled due to the raw PD's amplitudes. Novel 3D graphics are obtained in Matlab software according to the processed PD signals. Comparisons and results are presented in the last sections.

2. Material and Method

2.1. Partial Discharge Data

The power cables used in this study are cross-linked polyethylene cables (XLPE). Their specifications are 50 mm² in cross-section and 36 kV medium voltage. They are illustrated in Figure 1, have been tested at various intervals due to defects

occurring in the insulation. Different tests have been carried out at various voltage levels and various points to observe the data easily. The data obtained in this study were carried out at the level of approximately 8 kV, and the peak values obtained are indeed partial discharge signals.

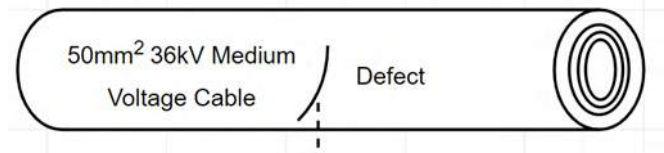


Figure 1. Model of insulation defect and XLPE cable

In this study, partial discharge measurement is practiced on the artificially damaged XLPE cables in the high voltage laboratory of Afyon Kocatepe University, Electrical Engineering Department. High voltage equipment is isolated from the oscilloscope and humans using the faraday cage. Also, other equipment is not close to high voltages during all experiments to ignore noises and keep safe. The PD data are recorded via PicoScope 5204 8-bit 2-ch 250MHz oscilloscope 128MS.

AC high voltages at 50 Hz frequency, the test voltage, are filtered with the coupling capacitor. In this way, only partial discharge signals of higher frequency and much lower voltages can be observed. Transformer and coupling capacitor are connected with XLPE cable prepared as an example (Quizhpi-Cuesta et al., 2017). Defects are formed into these cables. There is a partial discharge measuring device and a digital oscilloscope and data logger connected to the computer.

Measurements are performed according to IEC 60270 standard. In Figure 2, the partial discharge testing circuit of the laboratory is illustrated.

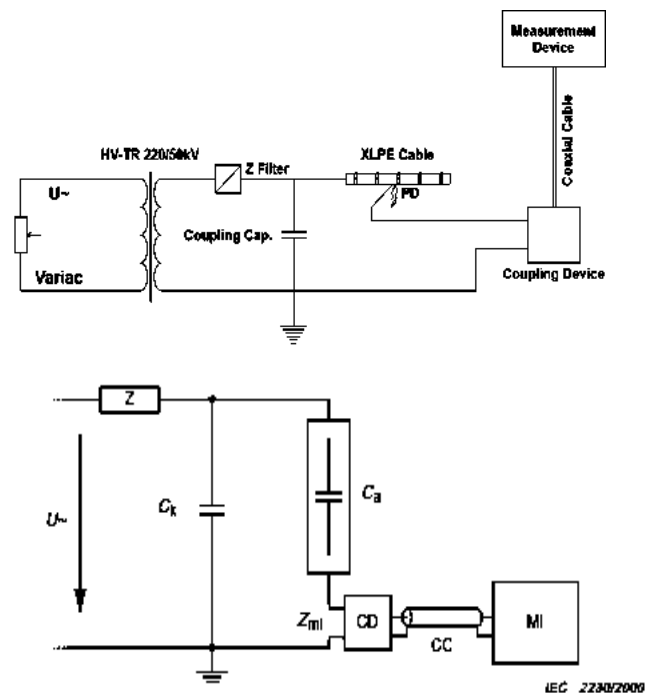


Figure 2. Circuit diagrams of the PD test system

2.2. Proposed Method

Although conventional and standard PD monitoring systems provide sufficient data, the end-user is challenging to understand because they represent a single graph and two-axis planes. Although the whole of the processes suggested in this study seems to be challenging, today's computer systems can process this big data to the desired extent thanks to the developing processing and graphics power.

Transferring PD data from one source to another and displaying it is both a tedious and slow process. This process, which is more suitable for instant viewing, cannot show the data wholly or partially. Moreover, these monitoring methods are separate and independent processes; also, an observer needs to follow them.

The main difference and advantage of the suggested method are that it shows all processes with a single process and creates the graphs in the same process. In addition, it can process data obtained from different sources without additional processing because filters and other operations are suitable for each data. This compatibility has been tested with other data sets.

2.2.1. Converting Data

The text file containing the partial discharge signals obtained from the oscilloscope appears columns and rows as format tab-delimited in Table 1. In this study, each sinus wave cycle contains 9964 pieces of discharge magnitude data and 9964 pieces of sinus voltage data. In addition, various data sets and methods measured at different voltage levels are available on the internet.

Table 1. Measured PD signals from two channels

Time (ms)	Channel A (V)	Channel B (V)
-0.00523531	-0.06299213	-0.01574803
-0.00322731	-0.07874016	-0.01574803
-0.00121931	-0.07874016	0.00000000
0.00078869	-0.06299213	0.00000000
0.00279669	-0.06299213	0.00000000
0.00480469	-0.06299213	0.00000000
...

The recorded original PD data is illustrated in 3. The maximum points of the signal show PD pulses are seen.

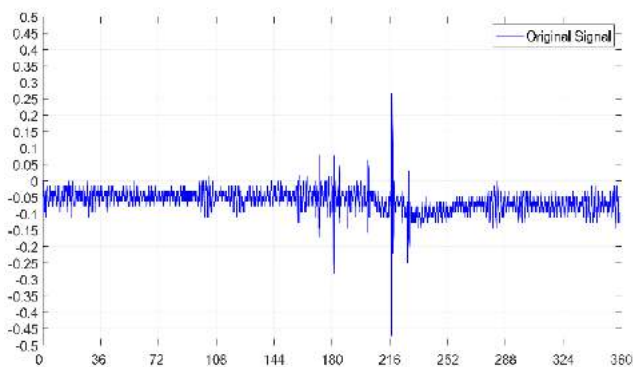


Figure 3. Original PD signal.

2.2.2. Filtering and Scaling PD Data

The basic concept behind analyzing partial discharge is to filter the signals. In this sense, it is essential to distinguish essential information from the phenomenon of partial discharge (Fruth & Niemeyer, 1992; Macedo et al., 2012). Following each step, partial discharge signals that represent the essential signals solely became evident. In addition, losses from filters have been re-gained by using simple basic mathematical equations to scale the data. The general approach, the way, and formulas can be seen in the Flowchart given in Figure 4.

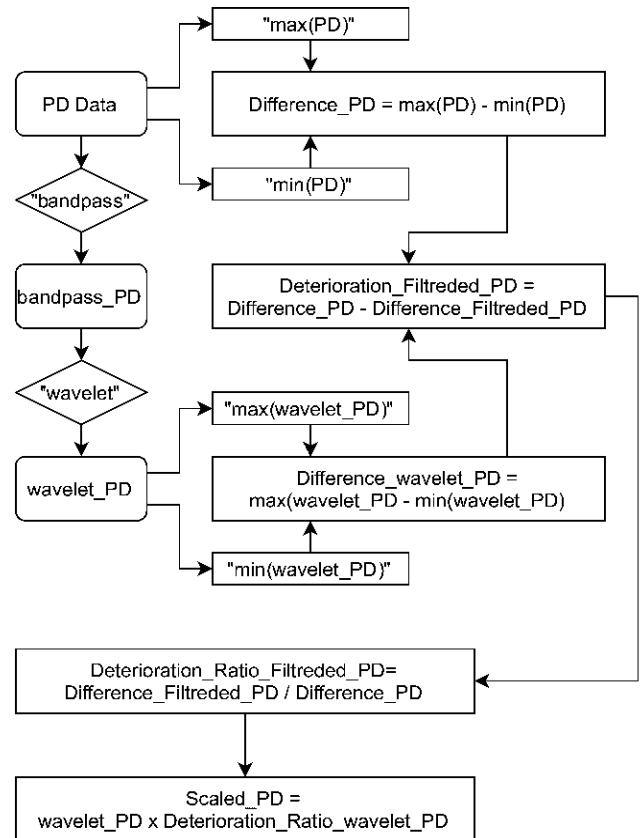


Figure 4. Flowchart of the proposed algorithm

The band-pass filter is recommended to filter low-frequency data to eliminate noise that has its own frequency. After this process, the filtered signal can be seen in Figure 5.

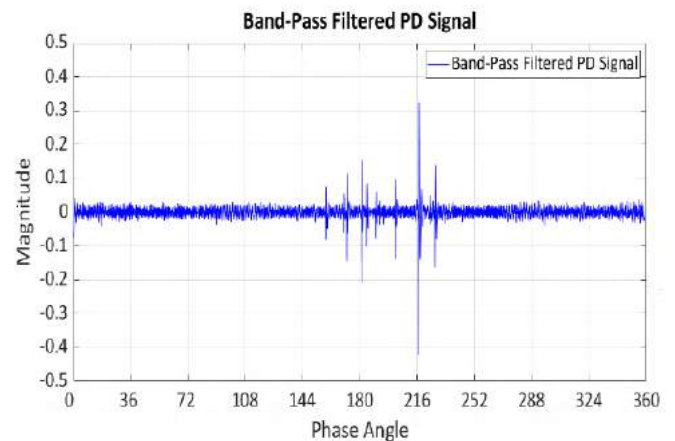


Figure 5. Bandpass filtered PD signal

2.2.3. Wavelet De-noising Technique

Wavelet is a small wave whose energy focus over time and is a tool for analyzing transient and unstable signals or signals that change over time. Fourier analyses are splitting a signal into sine waves of different frequencies, and wavelet analysis divides a signal into a shifted and scaled type of the main wavelets (Satish & Nazneen, 2003).

Many noise sources can directly affect the partial discharge forecast. Among many mathematical techniques applied to noise reduction partial discharge signals, the wavelet transform, considered an alternative to the Fourier transform, is one of the most powerful.

Wavelet transform is a relatively new concept, but it is one of the most popular time-frequency transformations (Todorova & Parvanova, 2017). While the Fourier transform expands the signals in terms of infinitely expanded sines and cosines, wavelet transform methods use distinct ripples that concentrate their energy over time or in space, generally an excessively enlarged point (Fan et al., 2012; Macedo et al., 2012). In addition, the wavelet method was applied after the band-pass filter, and as clearly seen, essential partial discharge signals were separated from the noises. However, before applying this filter, the wavelet function in MATLAB should be used with appropriate settings. These settings should be evaluated according to the signal output state and should be reviewed at each application. The settings applied in this study are given in Table 2 and are specific to this study only.

Table 2. Wavelet De-noiser settings

Wavelet De-noising Rule	Rule Value
Wavelet	coif1
Level	10
Denoising Method	FDR
Q-value	0.1
Threshold Rule	Hard
Noise	Level Dependent

2.2.4. Scaling Process

After all the filters, the scaling process is necessary to minimize gains and losses due to filters' nature. Also, these losses and gains are not caused by electrical components for the process studied in this paper. It is more about solver and iteration method using MATLAB. Scaled PD signals are shown in Figure 6. After this scaling, the amplitudes of the partial discharge signals remain the same, preventing possible data loss. The amplitude changes can be interpreted and corrected using various simple methods, and they can be interpreted and corrected using a variety of simple methods, including simple mathematical equations. The minimum and maximum values of the partial discharge data obtained from the transformations are given in Table 3, and the resulting deterioration values are given in Table 4.

Table 3. Maximum and minimum values

	Max. Value	Min. Value	Difference
Sample PD	0.2677	-0.4724	0.7401
Band-Pass	0.3223	-0.4235	0.7459

Wavelet	0.3396	-0.4265	0.7661
---------	--------	---------	--------

Table 4. Deterioration values

	Sample PD	Band-Pass	Wavelet
Sample PD	-	-	0.006
Band-Pass	0.01	%0.78	-
Wavelet	0.03	%3.51	0.02

In order to obtain scaled PD signals, the wavelet signal multiplied with percentage ratio should be added to the wavelet signal, as seen in (1).

$$\text{Scaled}_{PD} = \text{Wavelet}_{PD} + (\text{Wavelet}_{PD} * \%3.5047) \quad (1)$$

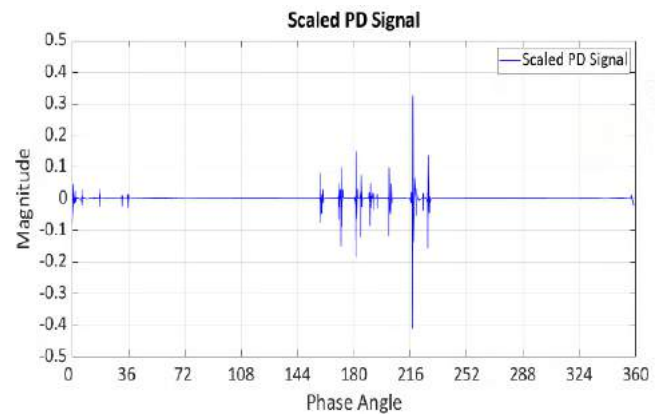


Figure 6. Scaled partial discharge signal.

2.3. Analysis of Potential Errors

This study uses a variety of evaluation criteria and deviation methods to analyze the final signal and raw data. Deliberately extracted PD signal can be seen in Figure 8. The primary approach is that if partial discharge data is deliberately extracted in Figure 7, the final scaled data can show accurate partial discharge signals. Visual representation of the errors is expected to be as in Figure 8. The firstly raw partial discharge signal and the final partial discharge signal are compared in each deviation method to apply this approach. Typically used evaluation criteria are based on errors as the following.

The Root Mean Square Error (RMSE) is given by (2).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}} \quad (2)$$

The Pearson Correlation Coefficient (PCC) is given by (3).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

The Mean Absolute Error (MAE) is given by (4).

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - \bar{y}|}{N} \quad (4)$$

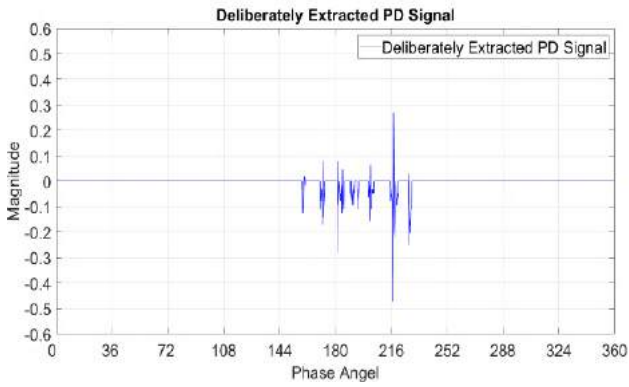


Figure 7. Deliberately extracted PD signal

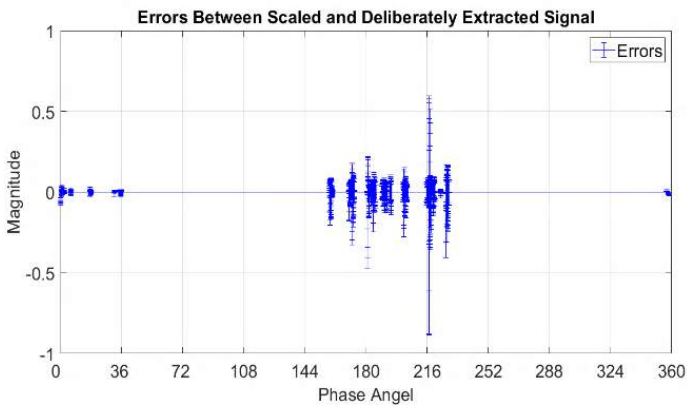
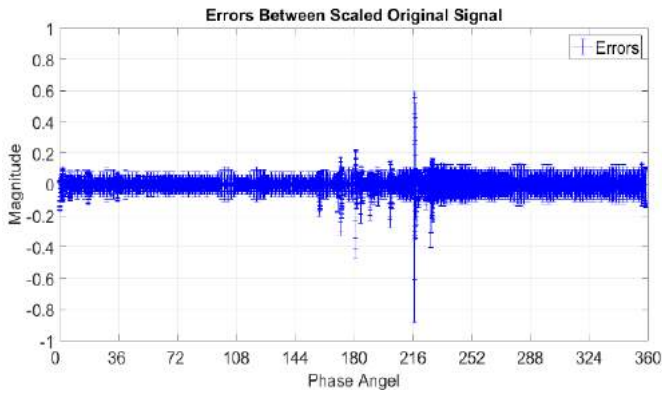


Figure 8. Comparison between "Errors Between Scaled Original Signal" and "Errors Between Scaled and Deliberately Extracted Signal".

3. Results and Discussion

The results obtained after the error analysis are shown in Table 3, Table 4 and Table 5.. The irrelevant reference signal is a different signal with the same data length. All error analysis gives the expected result and proves the accuracy of the final output. Instead of performing these analyzes one by one in each phase, they can be analyzed automatically with the help of MATLAB codes. Other methods and approaches can be increased to improve the analysis, and various analyses used in forecasting can also be preferred for control purposes(Franses, 2016; Qian et al., 2006).

Table 5. The Root Mean Square Error (RMSE) results

Parameter	Parameter	Error(%)
Raw PD Signal	Scaled	0.0669
Test PD Signal	Scaled	0.0174
Scaled	Scaled	0
Ref. irrelevant signal	Scaled	0.9452

Table 6. The Pearson Correlation Coefficient (PCC) results

Parameter	Parameter	Coefficient
Raw PD Signal	Scaled	0.5143
Test PD Signal	Scaled	0.0649
Scaled	Scaled	1.0000
Ref. irrelevant signal	Scaled	0.0000

Table 7. The Root Mean Square Error (RMSE) result table

Parameter	Parameter	Error(%)
Raw PD Signal	Scaled	0.0609
Test PD Signal	Scaled	0.0046
Scaled	Scaled	0
Ref. irrelevant signal	Scaled	0.8493

3.1. Obtaining 3D Graphics

MATLAB allows creating charts and making various adjustments to these charts. Thanks to that visual skill, 3-D graphics can be made desired with codes (Ferreira & Fantuzzi, 2020).

In this study, for 3D graphics, color maps and color bars are required to define values or areas showing partial discharge signals. MATLAB enables this with "colormap" and "color bar" codes. "colorbar" displays a vertical color bar to the right of the current axes or chart. Colorbars display the current colormap and indicate the mapping of data values into the colormap.

The most delicate part of adjusting the color bar is choosing the right spot that matches the white area of the white color map and the minimum values of the partial discharge signals. This process can now be applied to the signal whose average was reduced to 0 in the previous stages. For this reason, using "set(gca, 'CLim', [min max]);" and "zlim([min max])" codes are essential after plotting codes also these min and max values' magnitudes have to be the same such as "-0.5 and 0.5". MATLAB has several 3D drawings codes and methods for creating 3D graphics, but "surf" and "mesh" are more suitable for this study. The "all_final_scaled_signals" matrix must be the (examples)x9964 matrix. Finally, the final 3D graphic is visible in Figure 9.

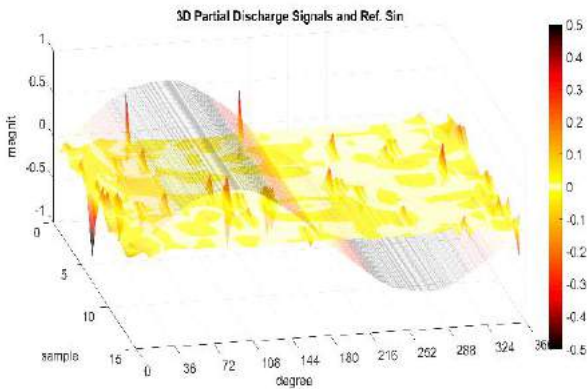


Figure 9. PD 3D graph

Partial discharge analysis is a crucial issue in high voltage electrical systems. Before a complete discharge, a partial discharge level should be determined, and precautions should be taken. In this paper, an experimental PD testing on the power cables is realized, and a basic PD graphic obtainer is developed according to the measured PD signals. Cross-linked polyethylene cables are selected as samples. However, any high voltage equipment may be selected as well. PD signals show similarities, and the analysis methods are analogous.

Due to the processor limits to achieve these results, all denoising methods may seem like long processes, but filtering and processing partial discharge does not have to be instant measurements. With the correct understanding of these limitations, partial discharges can be measured, filtered, and graphed without the need for expensive measuring tools. In addition, this data can be reprocessed freely, and different results can be obtained without using external programs and methods. This 3D graphic, similar to PRPD, is obvious compared to 2D graphics in legibility and clarity.

4. Conclusions and Recommendations

It can be mentioned that they can benefit from the 3-dimensional evaluation to be reviewed in terms of reviewing the two objects to be made from the partial usage areas. In addition, more efficient results of the datasets were obtained by applying the target for the use of the datasets.

References

Fan, Z., Cai, M., & Wang, H. (2012). An improved denoising algorithm based on wavelet transform modulus maxima for non-intrusive measurement signals. *Measurement Science and Technology*, 23(4), 045007.

Farahani, M., Borsi, H., Gockenbach, E., & Kaufhold, M. (2005). Partial discharge and dissipation factor behavior of model insulating systems for high voltage rotating machines under different stresses. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 21(5), 5-19.

Ferreira, A. J., & Fantuzzi, N. (2020). Bernoulli 3D Frames. In *MATLAB Codes for Finite Element Analysis* (pp. 123-139). Springer, Cham.

Forsén, C. (2008). Modelling of cavity partial discharges at variable applied frequency (Doctoral dissertation, KTH).

Franses, P. H. (2016). A note on the mean absolute scaled error. *International Journal of Forecasting*, 32(1), 20-22.

Fruth, B., & Niemeyer, L. (1992). The importance of statistical characteristics of partial discharge data. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 27(1), 60-69.

Kania, M., Fereniec, M., & Maniewski, R. (2007). Wavelet denoising for multi-lead high resolution ECG signals. *Measurement science review*, 7(4), 30-33.

Macedo, E. C. T., Araujo, D. B., Da Costa, E. G., Freire, R. C. S., Lopes, W. T. A., Torres, I. S. M., ... & Glover, I. A. (2012, May). Wavelet transform processing applied to partial discharge evaluation. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 364, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.

Negm, T. S., Refaey, M., & Hossam-Eldin, A. A. (2016, December). Modeling and simulation of internal Partial Discharges in solid dielectrics under variable applied frequencies. In *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)* (pp. 639-644). IEEE.

Qian, Z., Ju, T., Yunqing, B., Yanbin, X., & Ming, T. (2006, October). Mathematical model of four typical defects for UHF partial discharge in GIS. In *2006 International Conference on Power System Technology* (pp. 1-8). IEEE.

Quizhpi-Cuesta, M., Gómez-Juca, F., Orozco-Tupacyupanqui, W., & Quizhpi-Palomeque, F. (2017, March). An alternative method for Partial Discharges measurement using digital filters. In *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)* (pp. 92-97). IEEE.

Satish, L., & Nazneen, B. (2003). Wavelet-based denoising of partial discharge signals buried in excessive noise and interference. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 10(2), 354-367.

Schwarz, R., Muhr, M., & Pack, S. (2005, June). Partial discharge detection in oil with optical methods. In *IEEE International Conference on Dielectric Liquids, 2005. ICDL 2005.* (pp. 245-248). IEEE.

Todorova, M., & Parvanova, R. (2017, June). Filtration of deteriorated signals used in the control systems by orthogonal wavelets. In *2017 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)* (pp. 395-399). IEEE.

Yiğit, E., Özkaya, U., Öztürk, Ş., Singh, D., & Gritli, H. (2021). Automatic Detection of Power Quality Disturbance Using Convolutional Neural Network Structure with Gated Recurrent Unit. *Mobile Information Systems*, 2021.



Evaluation of Ensemble Algorithms and Deep Learning Transformers in Medical Sentiment Prediction

Akın Özçift^{1*}, Mehmet Bozuyula²

^{1*} Manisa Celal Bayar University, Hasan Ferdi Turgutlu Technology Faculty, Department of Software Engineering, Manisa, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2840-1917), akin.ozcift@mcbu.edu.tr

² Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Denizli, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7485-6106), mbozuyula05@posta.pau.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010241)

ATIF/REFERENCE: Özçift, A. & Bozuyula, M., (2021). Evaluation of Ensemble Algorithms and Deep learning Transformers in Medical Sentiment Prediction. *European Journal of Science and Technology*, (28), 690-693.

Abstract

Social media continuously produces digital information that can be used to improve service quality. In this aspect sentiment prediction, automated analysis of written user reviews, is an important research area from service quality point of view. Online sentiment prediction is a rich research area from e-business perspective. However, identification of sentiment from medical service user reviews is particularly researched less frequently. From Turkish language point of view, the medical informatics literature needs more research to design automated medical sentiment systems. Automated sentiment analysis systems particularly make use of Machine Learning (ML) algorithm in tandem with Natural Language Processing (NLP) methods to address written user reviews. In this work, ensemble learning approaches are compared with newly developed deep learning variations, Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT), to investigate medical sentiments. As the obtained results are evaluated, it is observed that newly proposed transformer models are perfectly successful to identify sentiment of Turkish medical reviews.

Keywords: Ensemble Learning, Bidirectional Encoder Representations from Transformers, Medical Review, Sentiment Identification

Tıbbi Duyarlılık Tahmininde Topluluk Algoritmalarının ve Derin Öğrenme Transformatörlerinin Değerlendirilmesi

Öz

Sosyal medya, hizmet kalitesini artırmak için kullanılabilir dijital bilgileri sürekli olarak üretmektedir. Bu yönüyle duygu tahmini, yazılı kullanıcı yorumlarının otomatik analizi, hizmet kalitesi açısından önemli bir araştırma alanıdır. Çevrimiçi duygu tahmini, e-iş perspektifinden zengin bir araştırma alanıdır. Bununla birlikte, tıbbi servislere ait kullanıcı incelemelerinden duyguların belirlenmesi özellikle daha az sıklıkla araştırılmaktadır. Türk dili açısından bakıldığında, tıbbi bilişim literatürünün otomatikleştirilmiş tıbbi duyarlılık sistemleri tasarlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyacı vardır. Otomatik duygu analizi sistemleri, yazılı kullanıcı incelemelerini ele almak için özellikle Doğal Dil İşleme (DDİ) yöntemleriyle birlikte Makine Öğrenimi (MÖ) algoritmalarını kullanır. Bu çalışmada, tıbbi yorum duygularını araştırmak için topluluk öğrenme yaklaşımları, yeni geliştirilen derin öğrenme varyasyonları olan Transformers'dan Çift Yönlü Kodlayıcı Gösterimleri (TÇYK) ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, yeni önerilen transfers modellerinin Türkçe tıbbi incelemelerinin duyarlılığını belirlemede mükemmel derecede başarılı olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Topluluk Öğrenimi, Transformatörlerden Çift Yönlü Kodlayıcı Temsilleri, Tıbbi Yorum, Duygu Tanımlama

* Corresponding Author: akin.ozcift@mcbu.edu.tr

1. Introduction

Digital information in terms of user reviews are generated constantly. In particular, Sentiment Analysis (SA) is used to extract user opinion from written reviews to enhance the quality of all kinds of services such as products, hotels, airlines etc. analysis of valuable information from these reviews are principally important. From this point of view, medical sentiment analysis is a research field that is effectively used to develop service quality of medical domain (Rahim et al., 2021). More precisely, this analysis focus on patient opinions about hospitals or doctors. In other words, patients may use this type of analysis to choose a physician or hospitals use these opinions to improve the quality of health-care facilities (Jiménez-Zafra et al., 2019).

Automation of any SA task is important from data abundance point of view. Since, it is not possible to extract information from social media, automated analysis models are strictly becomes vital (Lin et al., 2020). Most of the automated analysis tasks make use of ML and NLP methods in tandem to extract user opinions or to obtain sentiment of users for any service (Ullah et al., 2020).

In the literature, there are many SA studies using ML/NLP combinations in some way. In this work, we focus on recent Turkish SA research and particularly Turkish medical sentiment analysis.

Alqaraleh, in his Turkish movie sentiment analysis study, made use of Random Forests (RF) and AdaBoost (ADB) ensemble learners and he obtained promising results (Alqaraleh, 2020). Catal et al. combined Bagging (BG), Support Vector Machine and Naïve Bayes in a majority voting ensemble strategy in their work to detect Turkish sentiments (Catal & Nangir, 2017). In his recent work, Onan proposed an ensemble architecture to evaluate Turkish sentiments with the use of BAG and ADB algorithms (Onan, 2021). In another work, Tocoglu used AdaBoost, Bagging and Voting ensembles to analyse sentiments in software domain (Toçoğlu, 2020). A recent study focusing on Turkish movie and SemEval-2017 datasets made use of Stacking ensemble strategy to detect sentiments (Görmez et al., 2020).

For Turkish medical sentiment domain, a recent study by Özçift used a majority Voting strategy to analyse medical reviews (Özçift, 2020). Another study that analyses medical records with the use of Naïve Bayes (NB), J48 tree and Support Vector Machine (SVM) (Ceyhan et al., 2017). Twitter based reviews for physical activities was studied in (Şahin et al., 2021) to analyse sentiments.

As it is observed from literature survey, Turkish medical sentiment analysis domain is relatively insufficient. This work in this aspect is a contribution to the medical sentiment literature with the use of newly developed deep learning transformer algorithms. In this context, we first tested performance of various ensemble algorithms and then we compared them with the newly proposed transformer algorithms.

The rest of the paper is as follows: We explain the related framework and the experimental setup in Section 2. The results of the conducted experiments are given in Section 3. Our research ends with conclusion in Section 4.

2. Material and Method

In this section, we explain the medical sentiment evaluation pipeline. Our framework is composed of sections such as data, experimental setup, results of experiments and evaluation-validation metrics.

2.1. Medical Sentiment Data

The medical sentiment data is obtained from (Özçift, 2020) and after the data processed it consists of 1843 positive and 2319 negative instances. In this aspect, the data is balanced and we may use Accuracy (ACC) as performance evaluation metric.

2.2. Experimental Layout

Traditional ML algorithms need a text pre-processing step to be able to make a prediction such as sentiment classification. In more clear terms, extraction of features from written text requires a proper encoding such as term frequency-inverse document frequency (TF-IDF). We therefore used this encoding scheme to represent medical reviews to be able to use in ensemble models. For the sake of reliability of comparison among all algorithms, we preferred to use an 80/20 (train/test) split in all the experiments.

Since the goal of this study was to compare new transformer models with ensemble algorithms, we first selected widely used ensemble algorithms and multi-lingual transformers from literature. As a second step, we evaluated performance of the selected algorithms in terms of Accuracy (Acc) and we tested their confidence in terms of Matthews Correlation Coefficient (MCC)

As ensemble algorithms, we selected ADB, BG, LogiBoost (LGB), Random Subspace (RS), Rotation Forests (ROTF), Random Committee (RCM) and Random Forests (RANF) (Dong et al., 2020) from WEKA suit. Having obtained features from medical texts, we then used 80/20 split to get corresponding Acc and MCC values.

For transformer models, we selected multilingual Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) and its variation DistilBERT (Web 1, 2021). Furthermore, we made use of Turkish language dedicated transformer (BERTurk) as the third algorithm. We made use of 80/20 data split while we tune parameters of transformers and we also obtained Acc and MCC values for these experiments.

2.3. Evaluation Metrics

As we mentioned, our dataset is relatively balanced in terms of positive and negative number of samples. We therefore used Acc metric in the comparison of the ensemble and transformer algorithms. Acc is given in Equation 1 below.

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

In this equation True Positives (TP) and True Negatives (TN) are correct predictions. Incorrect predictions are denoted as False Negatives (FN) and False Positives (FP) in the same equation.

Any ML evaluation study needs to validate the experimental results statistically. One of the widely used statistical validation metric is MCC (Duysak et al., 2021) and it is calculated with Equation 2.

MCC metric for an experiment is statistically meaningful as the generated value is closer to 1.

$$MCC = \frac{TP \cdot TN - FP \cdot FN}{\sqrt{(TP + FP) \cdot (TP + FN) \cdot (TN + FP) \cdot (TN + FN)}} \quad (2)$$

3. Results

In this section, we present the experimental results obtained from previous section in Table 1 in terms of Acc and MCC values.

Table 1. Experimental results for Sentiment Identification

Algorithms	Acc	MCC
LGB	94.71	0.894
ADB	94.83	0.897
BG	96.39	0.927
RS	96.76	0.934
ROTF	97.12	0.942
RCM	97.60	0.951
RANF	97.96	0.958
DistilBERT	99.53	0.990
BERT	99.62	0.992
BERTTurk	99.97	0.999

Table 1 illustrates that the performance of transformer algorithms are better in terms of Acc compared to remaining models. We may observe that the best Acc among ensembles is achieved by RANF with 97.96%. This best performance is enhanced with all of the performances of transformers with Acc's of 99.53% to 99.97%. We compare Acc values of algorithms in Figure 1.

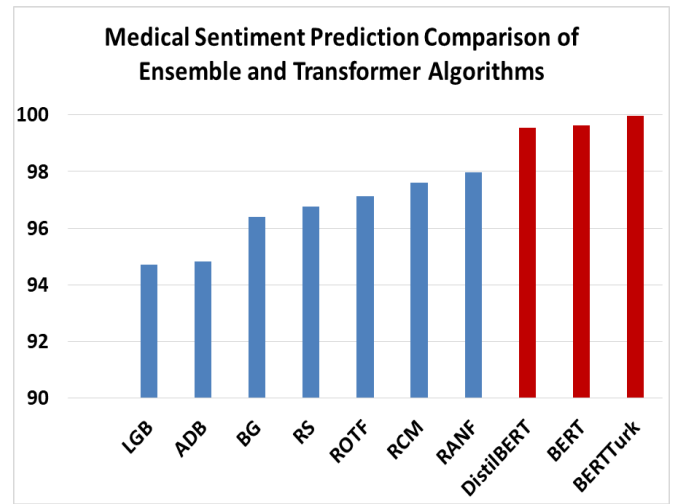


Figure 1. Accuracy of whole algorithms

The performance of the algorithms are also validated in terms of MCC values Figure 2.

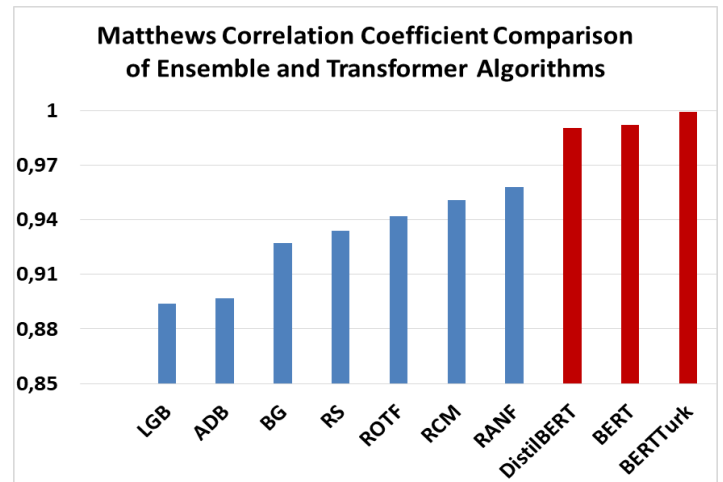


Figure 2. Kappa score of dataset

It is observed from Figure 2 that the performance of predictors are meaningful with varying MCC values from 0.894 to 0.999.

4. Conclusions

Automated analysis of user reviews is important to improve quality of any service. In particular, advancing health-care services require to analyze medical reviews. In this manner, accurate systems that extract user opinions without or minimal human involvement becomes vital. From this point of view, we analyzed advanced ML algorithms from literature in medical sentiment prediction ability for Turkish language. It is deduced from experiments that newly developed transformer algorithms are more versatile and more performative in terms of prediction efficiency.

From Turkish language point of view, it can be deduced that use of transformers is probably the new research direction.

References

Alqaraleh, S. (2020). Turkish Sentiment Analysis System via Ensemble Learning. *European Journal of Science and Technology*, 122–129. <https://doi.org/10.31590/ejosat.779181>

- Catal, C., & Nangir, M. (2017). A sentiment classification model based on multiple classifiers. *Applied Soft Computing*, 50, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.11.022>
- Ceyhan, M., Orhan, Z., & Domnori, E. (2017). Health service quality measurement from patient reviews in Turkish by opinion mining. *Badnjevic A. (Eds) CMBEBIH 2017. IFMBE Proceedings*, 62, 649–653. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4166-2_97
- Dong, X., Yu, Z., Cao, W., Shi, Y., & Ma, Q. (2020). A survey on ensemble learning. *Frontiers of Computer Science*, 14(2), 241–258.
- Duysak, H., Ozkaya, U., & Yigit, E. (2021). Determination of the Amount of Grain in Silos with Deep Learning Methods Based on Radar Spectrogram Data. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. [tps://doi.org/10.1007/s11704-019-8208-z](https://doi.org/10.1007/s11704-019-8208-z)
- Görmez, Y., Işık, Y. E., Temiz, M., & Aydın, Z. (2020). FBSEM: A Novel Feature-Based Stacked Ensemble Method for Sentiment Analysis. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 6, 11–22. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2020.06.02>

- Jiménez-Zafra, S. M., Martín-Valdivia, M. T., Molina-González, M. D., & Ureña-López, L. A. (2019). How do we talk about doctors and drugs? Sentiment analysis in forums expressing opinions for medical domain. *Artificial Intelligence in Medicine*, 93, 50–57. <https://doi.org/10.1016/J.ARTMED.2018.03.007>
- Lin, H. C. K., Wang, T. H., Lin, G. C., Cheng, S. C., Chen, H. R., & Huang, Y. M. (2020). Applying sentiment analysis to automatically classify consumer comments concerning marketing 4Cs aspects. *Applied Soft Computing*, 97, 106755. <https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2020.106755>
- Onan, A. (2021). Ensemble of Classifiers and Term Weighting Schemes for Sentiment Analysis in Turkish. *Scientific Research Communications*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.52460/src.2021.004>
- Özçift, A. (2020). Medical Sentiment Analysis Based on Soft Voting. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 6(1), 42–50.
- Rahim, A. I. A., Ibrahim, M. I., Musa, K. I., Chua, S. L., & Yaacob, N. M. (2021). Assessing Patient-Perceived Hospital Service Quality and Sentiment in Malaysian Public Hospitals using Machine Learning and Facebook Reviews. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 1–28. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189912>
- Şahin, T., Gümüş, H., & Gençoğlu, C. (2021). Analysis of Tweets Related with Physical Activity During COVID-19 Outbreak. *Journal of Basic and Clinical Health Sciences*, 1, 42–48. <https://doi.org/10.30621/jbachs.869506>
- Toçoğlu, M. A. (2020). Sentiment Analysis for Software Engineering Domain in Turkish. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 3(3). <https://doi.org/10.35377/saucis.03.03.769969>
- Ullah, M. A., Marium, S. M., Begum, S. A., & Dipa, N. S. (2020). An algorithm and method for sentiment analysis using the text and emoticon. *ICT Express*, 6(4), 357–360. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2020.07.003>
- Web 1. (2021). <https://huggingface.co/dbmdz>



Hybrid Convolutional Neural Network Architectures for Skin Cancer Classification

Emine Cengil^{1*}, Muhammed Yıldırım², Ahmet Çınar³

^{1*} Firat University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4313-8694), ecengil@firat.edu.tr

² Firat University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1866-4721), muyldrm@gmail.com

³ Firat University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5528-2226), acinar@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010266)

ATIF/REFERENCE: Cengil, E., Yıldırım, M. & Çınar, A. (2021). Hybrid Convolutional Neural Network Architectures for Skin Cancer Classification. *European Journal of Science and Technology*, (28), 694-701.

Abstract

Skin cancer is a common form of cancer seen in humans. Like other diseases, early diagnosis of skin cancer is vital. In the study, deep learning architectures, which are popular machine learning algorithms, are used to classify skin cancer. In order to increase accuracy performance, hybrid structures are realized using K-Nearest neighbor (KNN), Support vector machine (SVM) and Decision tree (DT). After feature extraction using convolutional neural network, KNN, SVM and DT are applied separately for classification. While the KNN and SVM of the produced hybrid structures increase performance, the use of the decision tree has negatively affected the performance. After the training and validation processes with the seven-class skin cancer mnist: ham10000 dataset containing dermatological images, the validation accuracy and confusion matrix criteria of the architectures are reported. Eight different architectures are implemented. The highest accuracy is provided by the structure in which the last layer of Alexnet architecture is replaced by the SVM classifier.

Keywords: Skin Cancer, Classification, CNN, Deep Learning, Hybrid Structures, KNN, SVM, DT.

Cilt Kanseri Sınıflandırması için Hibrit Evrişimli Sinir Ağı Mimarileri

Öz

Deri kanseri, insanlarda görülen yaygın bir kanser türüdür. Diğer hastalıklarda olduğu gibi cilt kanserinde de erken teşhis hayati önem taşımaktadır. Çalışmada cilt kanserini sınıflandırmak için popüler makine öğrenmesi algoritmaları olan derin öğrenme mimarileri kullanılmaktadır. Doğruluk performansını artırmak için K-En yakın komşu (KNN), Destek vektör makinesi (SVM) ve Karar ağacı (DT) kullanılarak hibrit yapılar gerçekleştirilmektedir. Evrişimli sinir ağı kullanılarak öznelik çıkarıldıktan sonra, sınıflandırma için KNN, SVM ve DT ayrı ayrı uygulanır. Üretilen hibrit yapıların KNN ve SVM'si performansı artırırken, karar ağacının kullanılması performansı olumsuz etkilemektedir. Dermatolojik görüntüleri içeren yedi sınıflı cilt kanseri mnist:ham10000 veri seti ile yapılan eğitim ve doğrulama işlemlerinden sonra mimarilerin doğrulama doğruluğu ve karmaşıklık matrisi kriterleri raporlanır. Sekiz farklı mimari uygulanmaktadır. En yüksek doğruluk, Alexnet mimarisinin son katmanının SVM sınıflandırıcısı ile değiştirildiği yapı tarafından sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deri Kanseri, Sınıflandırma, ESA, Derin Öğrenme, Hibrit Yapılar, KNN, SVM, DT.

* Corresponding Author: ecengil@firat.edu.tr

1. Introduction

Image classification is a machine learning problem that can be related to many topics and interests most areas. Medicine is one of these fields. Classification of medical images is a challenging task. Accurate diagnosis and detectability are critical for a general skin cancer prevention policy, given the aging population and limited health resources. Skin cancer is a common type of disease that can lead to death if not treated. As with all diseases, early and accurate detection of skin cancer is very important.

Skin cancer, the most frequent human malignancy, is detected clinically, with the first screening followed by dermoscopic examination, and if necessary, histological testing. Because of the fine grained heterogeneity in the manifestation of skin lesions, automatic classification of the lesions utilizing images is a challenging task [1]. Computer Aided Diagnosis systems can help physicians make better decisions. Machine learning is widely and effectively used in computer assisted diagnosis systems.

There are many studies in the literature for the diagnosis of skin cancer. O. Yildiz [2] proposes a system that can diagnose skin cancer type melanoma automatically. Designed for the diagnosis of melanoma, it was made with a deep neural network model called C4Net. It showed high classification success. H. Chang [3] proposes a new transfer learning-based deep network for the diagnosis of melanoma, a type of skin cancer. The network achieves high performance in the dataset applied. To identify melanoma in color images captured by dermoscopy equipment, E.I.Unlu et al. [4] employ a deep learning-based approach. The designed method makes use of the International Skin Imaging Collaboration database.

N. Codella et al. [5] propose a deep learning, sparse coding, and SVM learning system for melanoma detection in dermoscopy pictures. Unsupervised learning within the field and the transfer of features from the field of natural images minimize the requirement for annotated data in the target task to learn good features, which is one of the advantages of the proposed technique.

M. Yıldırım et al. [6] classified skin cancer into two classes. For this, they combined the features they extracted using the Alexnet and Densenet201 models. Finally, they classified the dataset with SVM.

K. E. Purnama et al. [7] present a system for teledermatology that may be used to classify and identify skin illnesses. Using a Deep Learning algorithm, this system classifies skin diseases in dermoscopic images. In this study, MNIST HAM10000 is divided into seven skin disease classes that fall under the category of skin cancer. MobileNet v1 and Inception v3 are two pre-trained CNN models used in the image classification process.

Convolutional Neural Networks are used by K. Pai et al. [8] to predict and classify seven different skin lesion types. For real-time usage of the algorithm, which can forecast the three most likely skin lesion types for a given image, a website is being established. Studies in the literature show that deep learning classifiers are a promising candidate for detecting skin cancer.

The remaining part of the paper is carried out as follows. Section 2 presents the theoretical background, talking about convolutional neural network structure, dataset and hybrid structures. Hybrid structures describe SVM, KNN, softmax, and DT which are used for classifier. Section 3, presents the details of performance metrics and experimental results. Finally we concluded the paper and discussion the future work in section 4.

2. Theoretical Background

2.1. Data Set

Dermoscopic images are a convenient source for automatically diagnosing pigmented skin lesions [9].

In this study, Scin Cancer Mnist Ham10000 dataset is used for the classification task of skin cancer. Dataset contains pigmented lesions from different populations.

Table 1. The number of images contained by classes in the dataset

Total	akiec	bcc	bkl	df	mel	nv	vasc
10015	327	514	1099	115	1113	6705	142

Dataset consists of seven different classes. Classes are as follows:

nv: Melanocytic nevi

mel: Dermatofibroma

bkl: Benign keratosis-like lesions

bcc: Basal cell carcinoma

akiec: Actinic keratoses

vasc: Vascular lesions

df: Dermatofibroma

Not all classes have the same number of data, and the distribution of classes is as in Table 1. Some images of dataset containing dermoscopic images are given in Fig.1.



Figure 1. Some example images from dataset

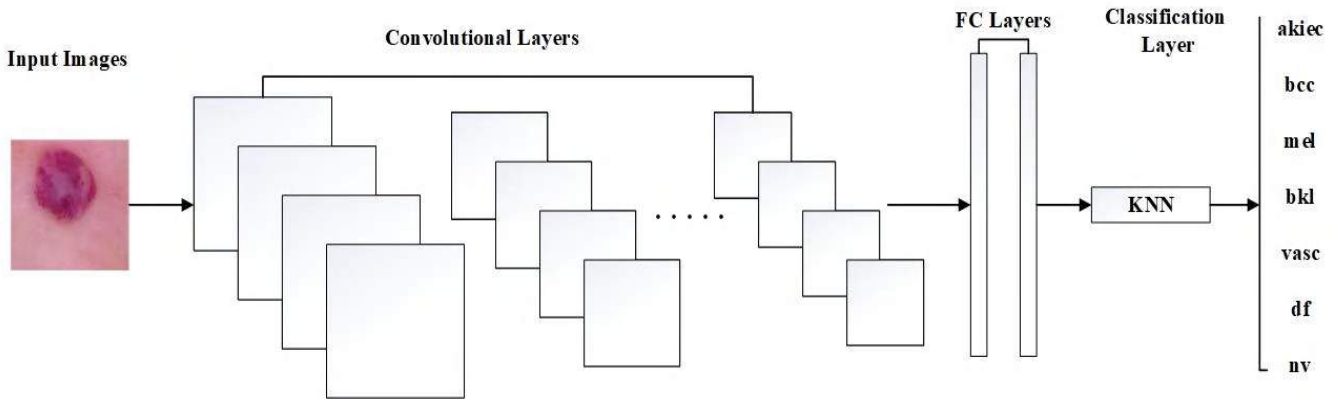


Figure. 2. Structure of the hybrid model

2.1.1. Convolutional Neural Network

CNN is one of the most impressive forms of artificial neural network architectures (ANN). ANNs are made up of a large number of interconnected compute nodes that are spread in a distributed way to learn from the input and improve the final output. CNNs are built up of neurons that learn to optimize themselves. In this respect, they are similar to ANNs [10].

CNNs are designed with the idea that the input will be images. This focuses on the architecture that should be built in the most appropriate manner to handle a specific type of data. There are different type of layers in CNNs. Convolutional layers, pooling layers, and fully connected layers are the three types. A CNN architecture is formed by stacking these layers.

2.1.2. Structures of Hybrid Architectures

CNNs contain convolution, pooling, and fully connected layer. For classification process, it has a classification function such as softmax in its last layer. In addition, structures where the classification layer is realized with other machine learning algorithms are also preferred for classification problems. Hybrid structures mostly affect performance. In the study, CNN structure used KNN, SVM and DT algorithms for classification task. Figure 2, gives an example of the architectures used. The figure shows our hybrid structure where the softmax classifier in the last layer of Alexnet is removed and the KNN classifier is added instead.

Softmax: Multinomial Logistic Regression is another name for Softmax. It's a mathematical term that's used a lot, especially in probability theory [11]. With the rapid advancement of computer vision, it is widely employed in deep learning. Softmax is utilized in the last layer of the convolutional neural network architectures as a standard for classification problems [8].

$$\sigma(x_j) = \frac{e^{x_j}}{\sum_i e^{x_i}} \tag{1}$$

The Softmax classifier gives a possibility for each class. For the same dataset, the probability sum for all vectors is 1. Softmax is calculated with the equation (1).

Decision Tree: DT is a traditional classifier that is defined as the sample space's recursive component. The nodes in the decision tree form a rooted tree, which is a directed tree with no incoming edges and a "root" node. There is one incoming edge for each of the other nodes. A node having outgoing edges is known as an internal or test node. The leaves refer to the other nodes.

Each inner node in a DT divides the sample region into two or more subdomains, each depending on a different function of

the input attribute values. Each test takes into account a single feature in the simplest and most typical instance, and the sample area is partitioned by the feature's value. In numerical characteristics, the condition refers to a range [12]. The tree structure is formed by branching, starting from the feature that has the highest impact at the decision stage. This tree structure created using the training set is then tested with test data. While creating the model, entropy calculation is commonly used to determine the order of importance of the features. Figure 3 gives an illustration of the decision tree structure.

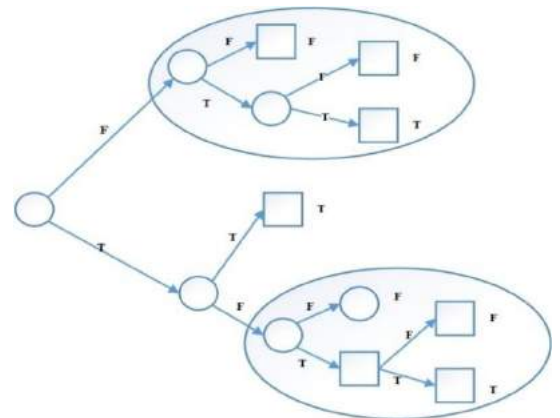


Figure 3. Illustration of DT

K Nearest Neighbour: The KNN algorithm assumes that similar things are close together. When deciding which class to forecast for a new observation, the algorithm determines which points in the training set are sufficient by selecting the data points closest to the new observation and taking the most common. This is why it is called the k Nearest Neighbour algorithm [13].

The procedure is applied on data from a sample set with specific classes. According to the existing data, the distance of the new data that will be included in the sample data set is computed, and k nearby neighborhoods are examined. Euclidean, manhattan and minkowski distance functions are generally used for distance calculations.

Support Vector Machine: SVMs were originally designed for binary classifications. They are also used in the solution of multi-classification problems. There are many methods for extending SVMs to multi-class problems. An "i" class SVM output is as in formula (2). The predicted class is as in equality (3).

$$a_i(x) = W^T x \tag{2}$$

$$arg\,max_i a_i(x) \tag{3}$$

The estimation functions of Softmax and SVM are the same. Softmax and multi-class SVMs are identical except for their aim, which is defined by all weight matrices W. The Softmax layer decreases cross entropy or maximizes the chance of log, while SVMs strive to discover the biggest margin between various data points. [14].

3. Application and Results

In this paper, we exploit deep learning's structure to create new learning-based inference and decision techniques that meet desired properties like robustness and interpretability. In the study, it is aimed to classify the images of skin cancer in the most accurate way. The network is trained with a seven-class database to verify. The system is carried out in matlab environment.

3.1. Performance Metrics

There are many performance metrics utilized to check the success of the classification. Sensitivity, specificity, F-score accuracy, and Matthews correlation coefficient are the metrics used to measure classification performance [15].

True Positive (TP): The predicted positive data is estimated correctly. The main values are the diagonal.

True Negative (TN): Data known as negative was estimated as negative. It is the sum of all values in the confusion matrix, except for the row and column of the corresponding class.

False Positive (FP): Data known as negative was estimated as positive. It is the sum of all values in the relevant column except TP for each class.

False Negative (FN): Data known as positive is estimated as negative. It is the sum of all values in the relevant row except TP for each class.

Table 2. Confusion matrix for multi-class classification

Classes	C1	C2	C3	C4	C5
C1	x1	x6	x11	x16	x21
C2	x2	x7	x12	x17	x22
C3	x3	x8	x13	x18	x23
C4	x4	x9	x14	x19	x24
C5	x5	x10	x15	x20	x25

In the confusion matrix of the five-class classification in Table 2, for the C1 class;

$$TP=x1$$

$$TN= \text{Sum of all values except values in row and column C1}$$

$$FP=x2+x3+x4+x5$$

$$FN=x6+x11+x16+x21$$

Performance metrics can be calculated in multi-classification operations with TP, TN, FP and FN values.

Accuracy: Accuracy is calculated by dividing the overall number of correct estimations by the total number of correct estimates in the dataset.

Error Rate (ERR): It is obtained by dividing the misclassified values into all values.

Sensitivity (SN): It's derived by dividing the overall positive number by the number of true positive predictions. It's also referred to as recall.

Specificity (SP): It is evaluated by dividing the number of correct negative predictions by the total number of negatives. This is also referred true negative rate.

Precision (PREC): It is calculated by dividing the number of true positive estimates by the total number of positive estimates.

False Positive Rate (FPR): It is obtained by dividing the number of false positive estimates by the overall of negatives.

F-Score: It is the harmonic average of the PREC and SN values.

Matthews Correlation Coefficient: It is a correlation coefficient calculated utilizing all four values in the confusion matrix.

3.2. Experimental Results

In the study, the metrics mentioned above are used to test the performance of our methods. Firstly, Alexnet and Resnet18 architectures, which are convolutional neural network architectures that give high accuracy in image processing problems, were used for the training of our dataset.

Alexnet is an architecture proposed by Khrizevsky et al. in 2012. There are 11 layers in the network. The presence of a large number of layers in the network improves feature extraction. Furthermore, the amount of factors has a negative impact on performance. The convolution layer is AlexNet's initial layer. Following the maximum pooling and normalization layers is the convolution layer. Softmax is the final layer, which does the classification [16].

Figure 4 gives the confusion matrix of the validation accuracy made with Scin Cancer Mnist Ham10000 dataset. 20% of the dataset is used for validation. The accuracy result of the model was derived from dividing the sum of TP and TN values by the sum of TP, TN, FP and FN values. Alexnet provided 77.16% validation accuracy. Calculation as in (4).

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} = \frac{2318}{3004} = 77.16 \quad (4)$$

akiec	16	29	36	1	4	12	
bcc	3	100	26	1	1	20	3
bkl	3	18	216		5	87	1
df	1	9	8	4	1	11	
mel	1	5	58		34	233	3
nv	1	19	68	3	1	1914	5
vasc	1	1	1			6	34
	akiec	bcc	bkl	df	mel	nv	vasc

Figure 4. Confusion matrix of Alexnet

Loss and accuracy curves obtained as a result of Alexnet training are given in the Figure 5.

Resnet18 architecture was presented in 2015 by kaiming et al. Increasing the network depth does not work by bringing layers together. Deep architectures are challenging to train due to the worsening destructive gradient. Because the gradient spreads back to the before layers, repeated multiplication may make the gradient infinitely small. Architecture focuses on the need to overcome the gradient problem by increasing the depth of the Networks [17]. Figure 6, shows the accuracy and loss curves of Resnet18. The structure provided 74.44% validation accuracy.

In this study, hybrid architectures were obtained by using KNN, SVM, and DT classification algorithms and Resnet18, Alexnet architectures. Validation accuracy rates of these structures are as

given in Table 3. The highest performance was achieved with the architectures using SVM.

Table 3. Accuracy of models

Model Name	Accuracy
Alexnet	0.7716
Alexnet+tree (H1)	0.6302
Alexnet+knn (H2)	0.7563
Alexnet+svm (H3)	0.7780
Resnet18 (H4)	0.7444
Resnet18+tree (H5)	0.6065
Resnet18+knn (H6)	0.7417
Resnet18+svm (H7)	0.7623

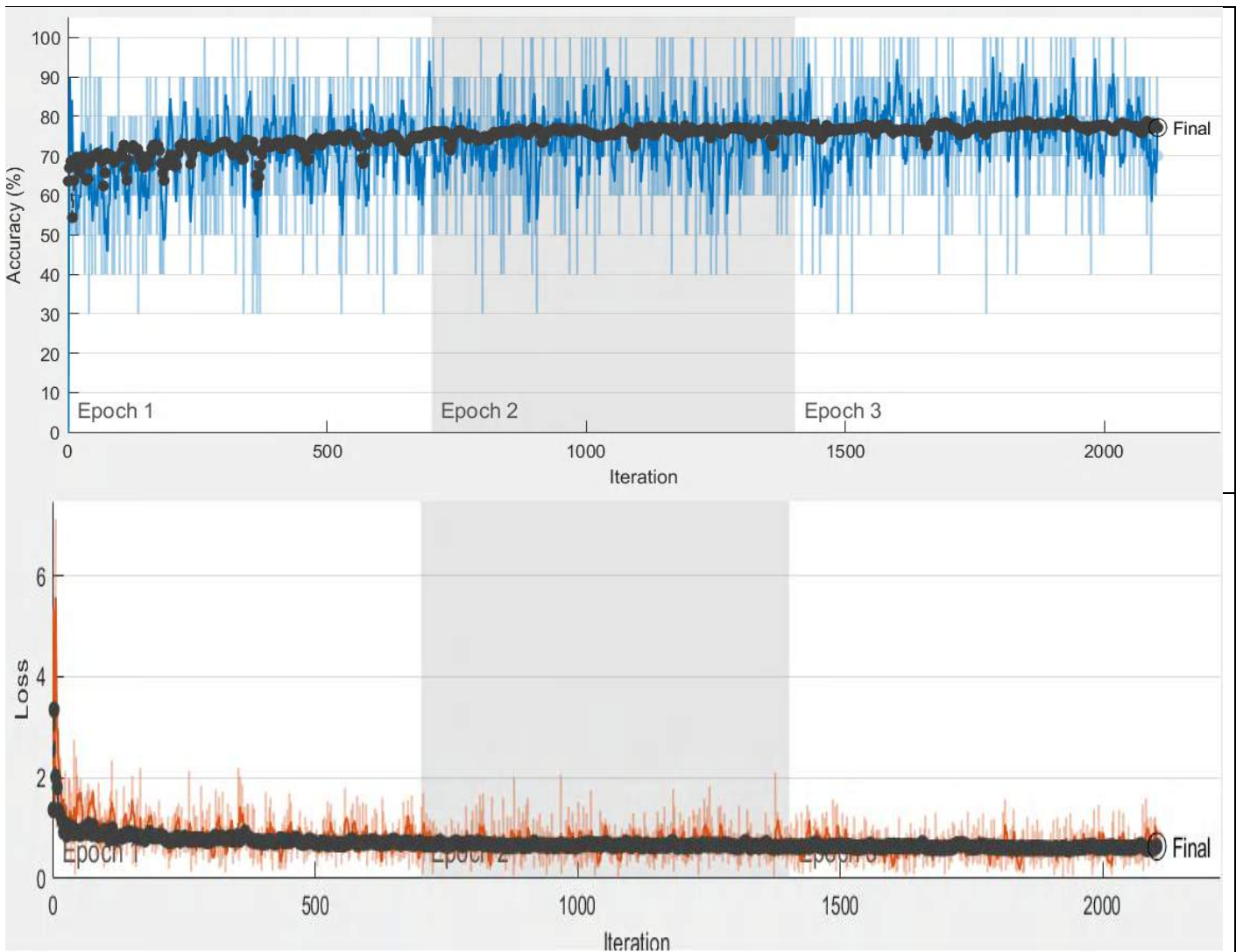


Figure 5 Accuracy and Loss curves of the Alexnet

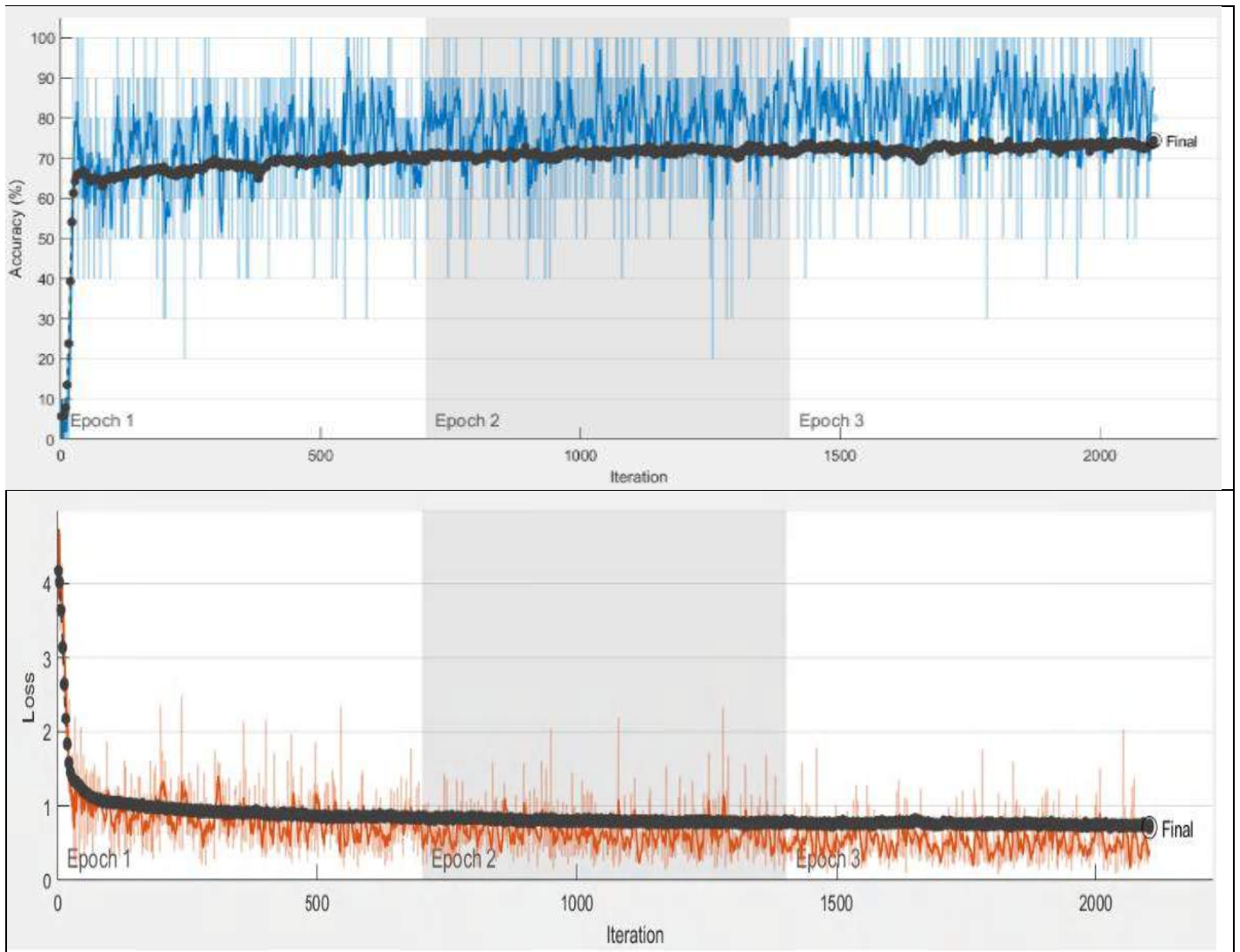


Figure 6. Accuracy and Loss curves of the Resnet18

In the models where we use pretrained architectures Alexnet and Resnet18, as classifier, respectively; we use DT, KNN and SVM. In this way, 6 different architectures are obtained. We perform the training and validation of the models in the same datasets and environment. We use 80% of the Scin Mnist Ham10000 dataset for training and the remaining 20% for validation. Models were compiled with graphics processing unit support. For model training, the learning rate is determined as $1e-4$ and momentum as 0.9.

The confusion matrices in the first and second rows given in Fig. 7 respectively show the results of the architectures created with Alexnet, Resnet18.

Performance measures are calculated for *vasc*, one of the 7 classes used in the classification task, from the confusion matrix of the given Alexnet + Svm (H3) architecture. The values of the metrics we have chosen as error rate, sensitivity, specificity, precision, FPR, MCC and F-score are presented in Table 4.

Table 4. Performance measures for *vasc* class in H3

Performance Metric	Value
<i>Error Rate</i>	0.005
<i>Sensitivity</i>	0.70
<i>Specificity</i>	0.99
<i>Precision</i>	0.85
<i>FPR</i>	0.001
<i>MCC</i>	0.77
<i>F-Score</i> ($\beta = 0.5$)	0.81

There are other studies in the literature that use the public dataset we use. Comparisons of methods made using Scin Cancer mnist ham10000 dataset are as given in Table 5.

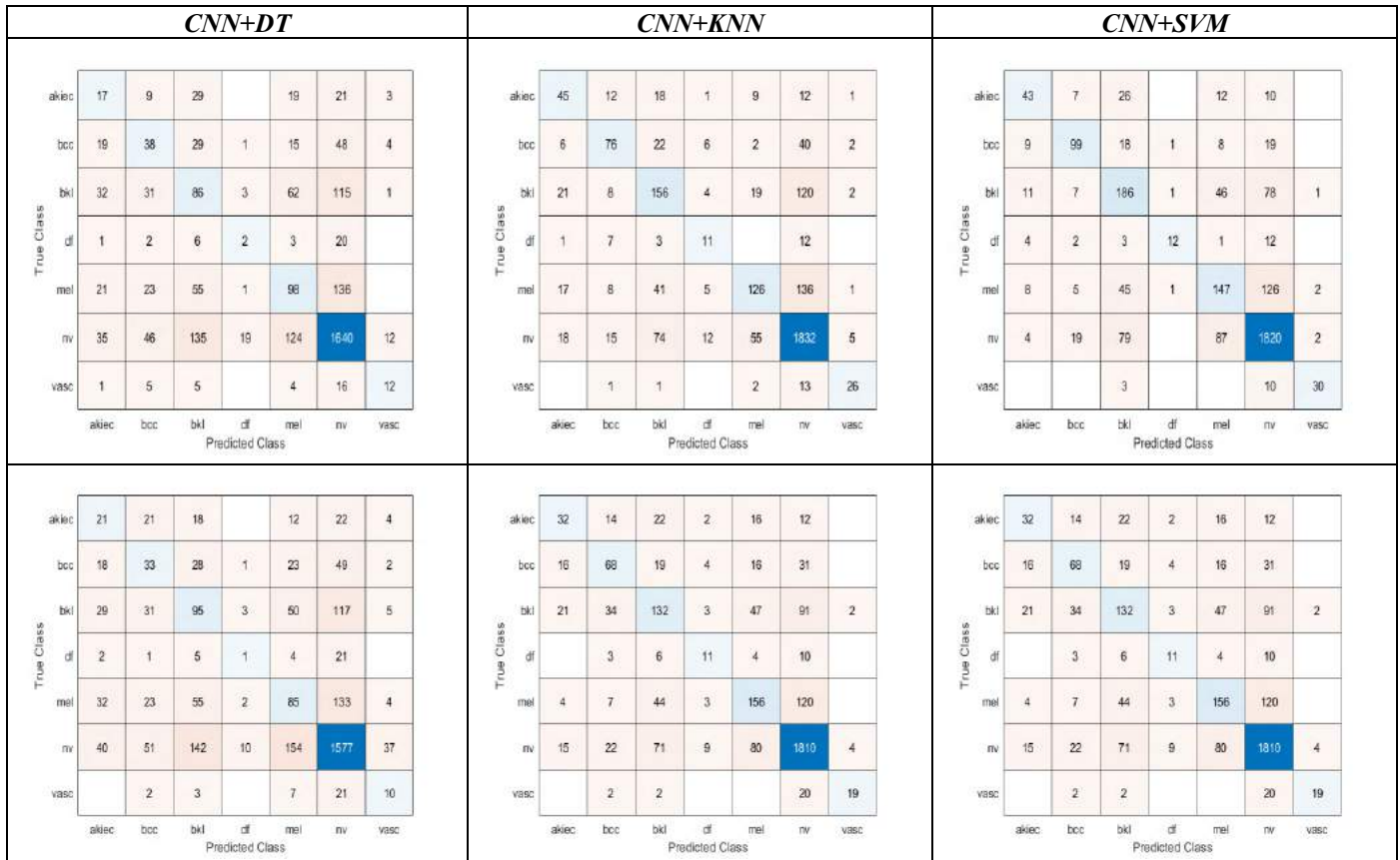


Figure 7. Confusion matrix of hybrid

Table 5. Studies on skin mnist ham10000

Authors	Methods	Class Number	Accuracy
Purnama et al.[7]	Inception V3	7	72 %
Purnama et al.[7]	MobileNet V1	7	58 %
Murugan et al.[18]	Resnet	4	61%
Murugan et al.[18]	VGG19	4	59%
Murugan et al.[18]	InceptionV3	4	64%
Proposed Method	H3	7	77 %
Proposed Method	H7	7	76 %

4. Conclusions

In the study, it is aimed to classify skin cancer using cnn networks. Classification is made with Alexnet and Resnet architectures, which are frequently used cnn architectures. Hybrid structures are created to increase the performance rate. Basically, by taking Alexnet and Resnet architectures, decision tree, knn and svm structures are used for classification task instead of softmax classifier in the last layer. In this way, six different hybrid architectures were created.

The two hybrid architectures created with Svm also give the highest results and the accuracy of standard Alexnet and Resnet18 increases in the rate of performance. On the other hand, the structures created with the decision tree have a decreasing effect on my performance. It is seen that the solution of the problem is improved with the proposed architectures by making comparisons with the previous studies in order to classify the data in the Skin Cancer Mnist Ham10000 dataset into seven classes.

Studies to classify medical diseases aim to assist doctors and patients. Skin cancer is a serious disease that can result in death. It is possible for doctors to make better decisions through computer-based systems. A method with high accuracy performance provides confidence in the diagnosis of the disease. At this point, the proposed method will be useful by improving existing methods. Studies are thought to be done to advance the method in the future.

References

- [1] Öztürk, Ş., & Özkaya, U. (2020). Skin lesion segmentation with improved convolutional neural network. *Journal of digital imaging*, 33(4), 958-970.
- [2] Yıldız, O. (2019). Melanoma detection from dermoscopy images with deep learning methods: A comprehensive study. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(4), 2241-2260.
- [3] Chang, H. (2017). Skin cancer reorganization and classification with deep neural network. *arXiv preprint arXiv:1703.00534*. Bejan, A. (2015). Constructal thermodynamics. *Constructal Law & Second Law Conference, Parma*, pp. S1-S8.

- [4] Ünlü, E. I., Çınar, A. (2018). Classification of skin images with respect to melanoma and nonmelanoma using the deep neural network.
- [5] Codella, N., Cai, J., Abedini, M., Garnavi, R., Halpern, A., & Smith, J. R. (2015). Deep learning, sparse coding, and SVM for melanoma recognition in dermoscopy images. In *International workshop on machine learning in medical imaging* (pp. 118-126). Springer, Cham.
- [6] YILDIRIM, M., & ÇINAR, A. (2021). Classification of Skin Cancer Images with Convolutional Neural Network Architectures. *Turkish Journal of Science and Technology*, 16(2), 187-195.
- [7] Purnama, I. K. E., Hernanda, A. K., Ratna, A. A. P., Nurtanio, I., Hidayati, A. N., Purnomo, M. H., ... & Rachmadi, R. F. (2019). Disease Classification based on Dermoscopic Skin Images Using Convolutional Neural Network in Teledermatology System. In *2019 International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)* (pp. 1-5). IEEE.
- [8] Pai, K., & Giridharan, A. (2019, October). Convolutional Neural Networks for classifying skin lesions. In *TENCON 2019-2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (pp. 1794-1796). IEEE.
- [9] Tschandl, P., Rosendahl, C., & Kittler, H. (2018). The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions. *Scientific data*, 5(1), 1-9.
- [10] O'Shea, K., & Nash, R. (2015). An introduction to convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:1511.08458*.
- [11] Wolfe, J., Jin, X., Bahr, T., & Holzer, N. (2017). Application of softmax regression and its validation for spectral-based land cover mapping. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 455.
- [12] Maimon, O., & Rokach, L. (Eds.). (2005). *Data mining and knowledge discovery handbook*.
- [13] Papernot, N., & McDaniel, P. (2018). Deep k-nearest neighbors: Towards confident, interpretable and robust deep learning. *arXiv preprint arXiv:1803.04765*.
- [14] Tang, Y. (2013). Deep learning using linear support vector machines. *arXiv preprint arXiv:1306.0239*.
- [15] Cengil, E., & Cinar, A. (2018, September). A deep learning based approach to lung cancer identification. In *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)* (pp. 1-5). IEEE.
- [16] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25, 1097-1105.
- [17] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- [18] Murugan, S., & Verwillow, A. DeepDerm: Detection of Cancerous Skin Lesions Through Deep Learning.



Effect of Nanoparticle Shape and Volume Fraction on Nanofluid Flow in Serpentine Microtube

Fethi Murat Altunay*, Kamil Arslan

* Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7291-4328),
fmaltunay@gmail.com

Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1216-6812),
kamilarslan@karabuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010714)

ATIF/REFERENCE: Altunay, F., Arslan, K. (2021). Effect of Nanoparticle Shape and Volume Fraction on Nanofluid Flow in Serpentine Microtube. *European Journal of Science and Technology*, (28), 702-709.

Abstract

The nanofluid flow in serpentine microtube was numerically investigated in this study. The study has been carried out in three-dimensional laminar flow ($750 \leq Re \leq 2000$) condition. Al_2O_3 – water nanofluid with different nanoparticle volume fractions (1.0%, 2.0%, 3.0%) have been used as the working fluid in the numerical analyzes. In addition, studies were carried out for blade, platelet and cylindrical nanoparticle shapes. The average Nusselt numbers and the average Darcy friction factors have been used to estimate the flow and heat transfer performance of nanofluid flow in serpentine microtubes. Velocity and temperature distributions inside the microtube were also examined for different cases. Numerical results of the study have been presented as the variation of average Nusselt number and average Darcy friction factor with Reynolds number, nanoparticle shape and nanoparticle volume fraction. As a result, the highest convective heat transfer performance has been obtained for platelet nanoparticle shape of the Al_2O_3 -water nanofluid with 3.0% nanoparticle volume fraction.

Keywords: Serpentine Microtube, Nanofluid, CFD, Convective Heat Transfer.

Nanopartikül Şeklinin ve Hacim Oranının Serpantin Mikrotüpünde Nanoakışkan Akışına Etkisi

Öz

Bu çalışmada serpantin mikrotüpteki nanoakışkan akışı sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma, üç boyutlu laminer akış ($750 \leq Re \leq 2000$) koşulunda gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerde, çalışma akışkanı olarak farklı nanopartikül hacim oranına (%1.0, %2.0, %3.0) sahip Al_2O_3 – su nanoakışkanı kullanılmıştır. Ayrıca uzun yaprak, plaklet ve silindirik nanopartikül şekilleri için çalışmalar yapılmıştır. Ortalama Nusselt sayıları ve ortalama Darcy sürtünme faktörleri, serpantin mikrotüplerdeki nanoakışkan akışının akış ve ısı transfer performansını hesaplamak için kullanılmıştır. Mikrotüp içindeki hız ve sıcaklık dağılımları da tüm farklı durumlar için incelenmiştir. Çalışmanın sayısal sonuçları, ortalama Nusselt sayısı ve ortalama Darcy sürtünme faktörünün Reynolds sayısı, nanopartikül şekli ve nanopartikül hacim oranı ile değişimi olarak sunulmuştur. Sonuç olarak, en yüksek ısı transfer performansı, Al_2O_3 -su nanoakışkanın %3.0 nanopartikül hacim oranı ile plaklet nanopartikül şekli için elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Serpantin Mikrotüp, Nanoakışkan, HAD, Taşınım ile ısı transferi.

* Corresponding Author: fmaltunay@gmail.com

1. Introduction

In parallel with the developments in thermal systems, efforts to improve heat transfer are continuing intensively. For the last half century, scientific research on heat transfer has led to the continuous development of existing heat transfer improvement methods. Nanofluid, which is found in 1995 by Choi [1], is prepared by dispersing nanoparticles in the base fluid such as water, oil, and ethylene glycol, etc. It provides two advantages to the base fluid: the first one is that while the nanofluid is composed, nanoparticle having higher thermal conductivity is preferred in terms of obtaining the nanofluid with higher thermal conductivity in comparison with the base fluid. The added nanoparticles expand the surface area of the conventional fluid and allow it to have more heat capacity [1]. Since the thermal conductivity of a solid metal is higher than that of the base fluid in which it is incorporated, the incorporation of metallic particles into the fluid increases the thermal conductivity of the mixture [2]. Nanofluids are considered to be a three-phase systems. These are solid phase called nanoparticles, liquid phase called base fluid and an interface phase. The interface phase contributes significantly to the system due to its high surface-to-volume ratio. [3].

The main purpose of the serpentine channels is to increase the surface contact area of the working fluid. In addition, serpentine tubes can withstand more pressure than many shapes. Therefore, it is frequently used in heating and cooling systems. Serpentine channels are used in hot water, steam systems, geothermal plants, textile sector, heat recovery systems, chemical plants, automotive sector, air handling units, industrial washing machines, compressor cooling systems and resistances.

The numerical study has been performed for serpentine channels by Ismail and Fotowat [4] using the finite volume method-based CFD code. Al_2O_3 -water nanofluid was used as the working fluid in a multichannel heat exchanger (MICHX) under laminar flow condition. Nusselt number and heat transfer coefficient were calculated for each nanoparticle volume fraction. Thus, the effect of nanoparticle volume fraction was investigated. [4]. The heat transfer and flow properties of the Cu-water nanofluid flow in serpentine microtubes were experimentally determined by Aliabadi et al. [5]. Serpentine microtubes were produced by bending a flat copper microtube with an inner diameter of $787 \mu\text{m}$. Cu-water nanofluid was also prepared using a one-step technique. The effects of the geometric parameters of serpentine microtubes and nanofluid nanoparticle volume fractions were investigated. It has been found that heat transfer is increased by decreasing both the spacing distance and the length of the serpentine microtube and increasing the volume fraction of the nanofluid. In addition, the results showed that the friction factor tended to increase [5].

The flow conditions of nanofluids with different nanoparticle shapes in serpentine microtubes have not yet been studied in detail. Hence, in this study, the effect of Al_2O_3 -water nanofluid flow on heat transfer and pressure drop characteristics in serpentine microtube has been investigated numerically. Effect of nanoparticle shape on convective heat transfer characteristic in serpentine microtube has also been examined in detail.

2. Material and Method

The nanofluid flow in serpentine microtube has been numerically investigated in this study. Al_2O_3 -water nanofluid used as working fluid. It was analyzed to determine the optimal nanoparticle shape (platelet, cylindrical, blade). Three different nanoparticle volume fractions (1.0%, 2.0%, 3.0%) have also been used. The studies were performed under laminar flow condition ($750 \leq \text{Re} \leq 2000$). Constant surface temperature was applied on to the surface of the serpentine microtube. The nanofluid has been analyzed with single phase method. Using the numerical results obtained from the study, variation of the average Nusselt number and average Darcy friction factors with Reynolds number for nanoparticle shape and nanoparticle volume fractions were examined. Velocity and temperature distributions in microtubes have been presented in detailed with graphs. At the end of the study, optimum nanoparticle shape and nanoparticle volume fraction were determined to provide the best performance.

The appearance and dimensions of the serpentine microtube are presented in Fig. 1.

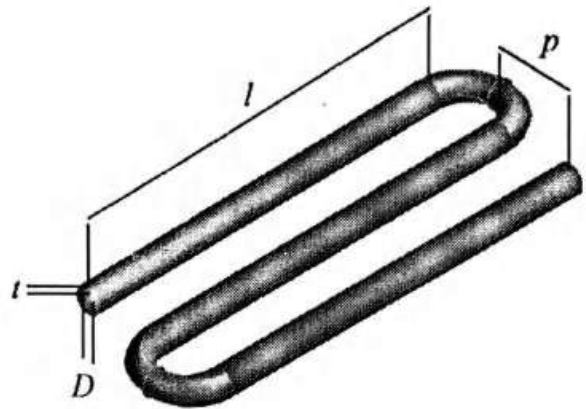


Fig. 1 Technical appearance of the model [5].

The geometric dimensions of the serpentine microtube are given in Table 1 in detail.

Table 1. Geometrical parameters of serpentine microtube [5].

Parameter	Terminology	Value
Diameter	D	$787 \mu\text{m}$
Thickness	t	1 mm
Pitch spacing	p	10 mm
Straight section	l	30 mm

Continuity, momentum and energy equations are solved numerically in the concept of this study.

2.1 Continuity Equation

In cylindrical coordinates, the general continuity equation is given in Eq. (1).

$$\nabla \vec{V}^* = 0 \quad (1)$$

2.2 Momentum Equation

In cylindrical coordinates, the general momentum equations given in Eq. (2).

$$(\vec{V}^* \nabla^*) \vec{V}^* = -Eu \nabla^* P^* + Re V^{*2} \vec{V}^* \tag{2}$$

2.3 Energy Equation

General energy equation in cylindrical coordinates can be represented as Eq. (3).

$$\frac{1}{Re Pr} \nabla^{*2} T^* + \frac{Ec}{Re} \phi^* = 0 \tag{3}$$

where the dimensionless parameters in Eq(1-3) [6]:

$$\vec{V}^* = \frac{\vec{V}}{U_m} \tag{4}$$

$$\vec{V}^* = \vec{V} D_h \tag{5}$$

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \tag{6}$$

$$P^* = \frac{P - P_\infty}{P_0 - P_\infty} \tag{7}$$

$$g^* = \frac{\vec{g}}{g} \tag{8}$$

$$T^* = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty} \tag{9}$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \tag{10}$$

$$Ec = \frac{U_m^2}{c_p (T_0 - T_m)} \tag{11}$$

$$Eu = \frac{P_0 - P_\infty}{\rho V^2} \tag{12}$$

Obtaining a special solution can only be achieved by solving general equations under boundary conditions. Therefore, the boundary conditions are defined and introduced to the program. The inlet temperature has been assumed to be constant 310K and enters the channel with a uniform velocity profile. Microtube surface has been assumed to be constant at 333K as surface boundary condition. The no-slip condition has also been applied on microtube surface. The output gauge pressure has been assumed to be at atmospheric conditions.

The thermophysical properties of base fluid and Al₂O₃ nanoparticle are given in Table 1. These properties have been obtained at 300 K.

Table 2. Thermophysical properties of Al₂O₃ nanoparticle and pure water at 300K

Thermophysical Properties	Pure Water	Al ₂ O ₃
ρ (kg/m ³)	997	3970
μ (Ns/m ²)	0.000855	-
k (W/mK)	0.613	40
cp (J/kgK)	4179	765

In order to calculate the nanofluid thermophysical properties for different nanoparticle volume fractions, empirical correlations have been used. The density of a nanofluid can be calculated using the classical mixture theory [7].

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_f + \phi\rho_p \tag{13}$$

Specific heat of the nanofluid can be calculated with Eq. (14) [7].

$$(c_p)_{nf} = [(1-\phi)\rho_f(c_p)_f + \phi\rho_p(c_p)_p] / \rho_{nf} \tag{14}$$

Different nanoparticle shapes (platelet, blade, cylindrical) of nanofluid have been used in this study. These shapes are presented in Fig. 2 [8].

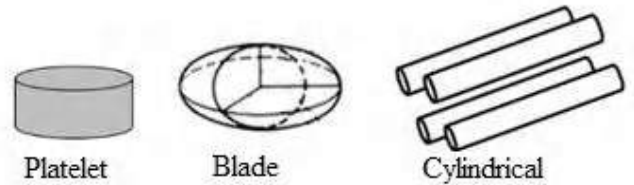


Fig. 2 General view of nanoparticle shapes

The constants differ as aspect ratio, sphericity, shape factor etc. for different nanoparticle shapes. These constants are shown in Table 3 and Table 4.

Table 3. Surface resistance and shape effects of Al₂O₃ nanoparticle types [9].

	Platelet	Cylindrical	Blade
Aspect ratio	1:1/8	1:8	1:6:1/12
Sphericity, Ψ	0.52	0.62	0.36
Shape factor, n=3/Ψ	5.7	4.9	8.6
c _k	2.61	3.95	2.74
(C _k) _{shape}	5.72	4.82	8.26
(C _k) _{surface} =C _k -(C _k) _{shape}	-3.11	-0.87	-5.52

Table 4. Viscosity coefficient for different nanoparticle shapes [10].

Nanoparticle shape	A ₁	A ₂
Blade	14.6	123.3
Cylindrical	13.5	904.4
Platelet	37.1	612.6

With these constants, Eq. (15) and Eq. (16) have been solved [10].

$$k_{nf} = [1 + [(C_k)_{surface}\phi]] k_f \tag{15}$$

(c_k)_{surface} is the coefficient of thermal conductivity and is taken from Table 3 according to the nanoparticle type. k_f is the coefficient of thermal conductivity for base fluid [10].

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + A_1\phi + A_2\phi^2) \tag{16}$$

The dynamic viscosity of the nanofluid is obtained from Eq. (16) where A₁ and A₂ are constants are presented in Table 4 [10].

The logarithmic mean temperature difference can be calculated as Eq. (17).

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_w - T_i) - (T_w - T_o)}{\ln\left(\frac{T_w - T_i}{T_w - T_o}\right)} \quad (17)$$

Eq. (18) was used for the calculation of convective heat transfer coefficient.

$$h = \frac{q''}{\Delta T_{lm}} \quad (18)$$

The average Nusselt number has been calculated for each case separately as;

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (19)$$

The average Darcy friction factor was obtained with Eq. (20).

$$f = \frac{\Delta P \frac{D}{L}}{\frac{\rho V^2}{2}} \quad (20)$$

The Performance Evaluation Criterion (PEC) can be calculated with Eq. (21).

$$PEC = \frac{\frac{h_{nf}}{h_{bf}}}{\sqrt[3]{\frac{\Delta P_{nf}}{\Delta P_{bf}}}} \quad (21)$$

In this study, Solidworks 2018 program was used to create the numerical model, and it was loaded into ANSYS Fluent 18.1 software for numerical calculations (Fig. 3).

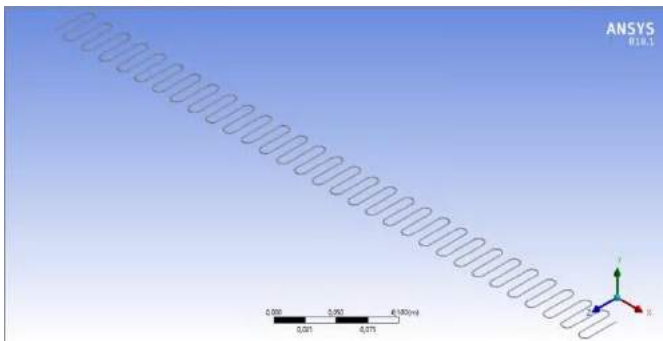


Fig. 3 General view of working geometry.

Mesh optimization is one of the most important stages of CFD analysis. In this study, the tetrahedral mesh structure is used as can be seen from Fig. 4 and Fig.5.

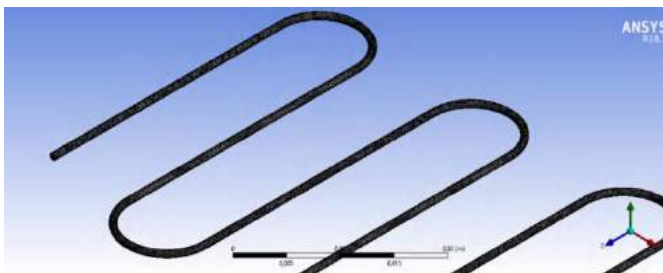


Fig. 4 General view of mesh used in the numerical study.

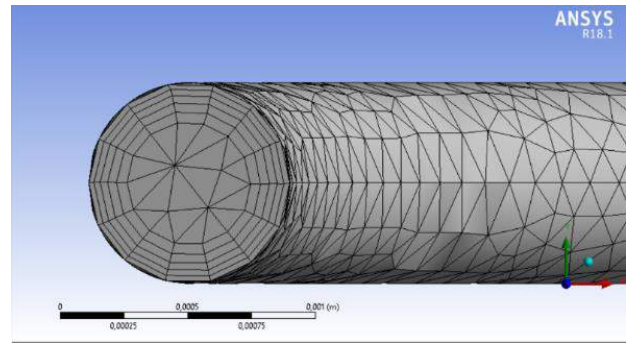


Fig. 5 Cross-sectional view of mesh used in the numerical study.

In order to test the independence of the numerical results from the number of mesh, the Nusselt number and Darcy friction factor values have been obtained for different mesh numbers at the highest Reynolds number (Re=2000). These values are given in Table 5 for different mesh numbers. The error percentages for each variable are found in the table, and it is noticed that the change in Nusselt number and Darcy friction factor values is very small especially after 1,576,502 mesh number. Accordingly, the optimum number of meshes is found to be 1,576,502 for faster and more accurate results.

Table 5. Mesh optimization.

Nodes	Elements	Nu	%Nu changing	f	%f changing
2397485	1084374	7.35	-	0.05943	-
2802040	1245208	7.43	1.12	0.05995	0.87
3019180	1330843	7.43	-0.05	0.06012	0.28
3639233	1576502	7.42	-0.14	0.06070	0.96
3995456	1715485	7.41	-0.13	0.06090	0.32
2397485	1084374	7.35	-	0.05943	-

Studies have been performed for different Reynolds numbers using the solution area with the optimum mesh number obtained. These results were compared with those of Aliabadi et al. [5] and the accuracy of the numerical study has been tested. Then, using the proven serpentine microtube geometry and mesh optimization, nanofluids were used into the system and analyzes have been started. At this stage, a serpentine microtube with fixed length was formed and the numerical studies were carried out by using pure water as working fluid. Then, numerical modeling has been done using Al₂O₃-water nanofluid with different nanoparticle shapes.

3. Results

The average Nusselt numbers calculated at different Reynolds numbers for pure water flow in the serpentine microtube channel were compared with the experimental results (Fig. 6.)

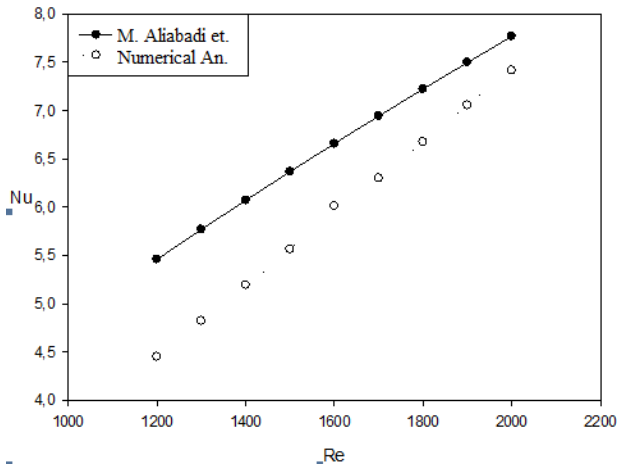


Fig. 6. Comparison of numerical and experimental results.

The average difference between the experimental and numerical results was $\mp 7\%$.

The effect of the change of nanoparticle volume fraction on the average Nusselt number is analyzed for 1.0%, 2.0% and 3.0% in Fig. 7.

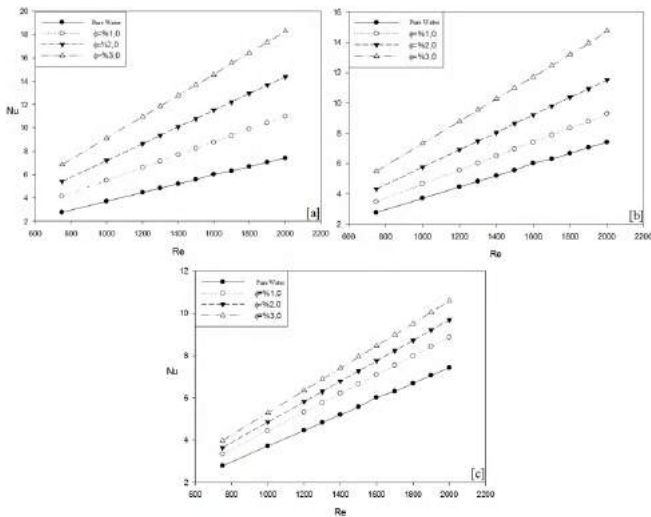


Fig. 7. The effect of the change of the nanoparticle volumetric fraction; (a) platelet, (b) cylindrical, (c) blade.

It is observed from Fig. 7 that the highest heat transfer rate is obtained at 3.0% nanoparticle volumetric fraction for each nanoparticle shape. In the numerical analyses, it has also been determined that the highest heat transfer rate achieves with platelet shaped nanoparticle and 3.0% nanoparticle volumetric fraction. Compared with pure water, 32.5%, 48.5% and 59.3% higher heat transfer rates were obtained with blade, cylindrical and platelet shaped nanoparticle, respectively.

The effect of changing nanoparticle shapes on average Nusselt number is analyzed for 1.0%, 2.0% and 3.0% nanoparticle volumetric fraction In Fig. 8. The heat transfer rates obtained from the nanofluid analyzes using platelet type nanoparticle with 3.0% nanoparticle volumetric fraction were obtained in 19.7% and

42.1% higher amounts than the cylindrical and blade type nanoparticle having the same nanoparticle volumetric fractions.

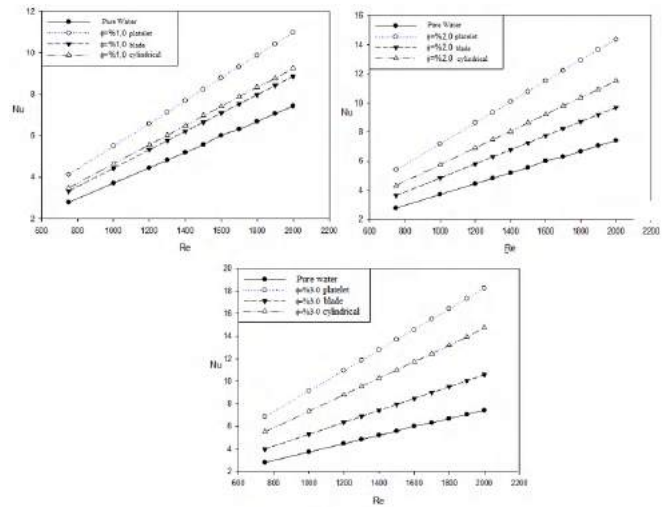


Fig. 8. The effect of the change of nanoparticle shapes on the average Nusselt number of nanofluid with 1.0%, 2.0% and 3.0% nanoparticle volumetric fractions

The effect of the change of nanoparticle shapes on the average Darcy friction factor is analyzed for 1.0%, 2.0% and 3% nanoparticle volumetric fractions In Fig. 9. It was found that the change of nanoparticle shape and volumetric fraction did not change the average Darcy friction factor.

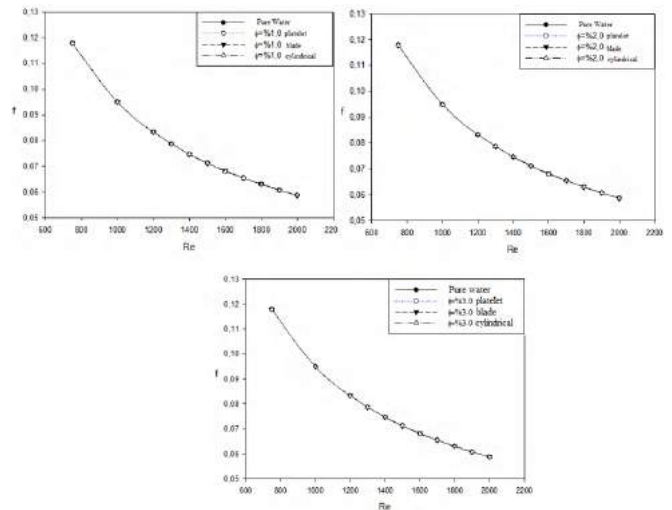


Fig. 9. The effect of the change of nanoparticle shapes on the average Darcy friction factor of nanofluid with 1.0%, 2.0% and 3.0% nanoparticle volumetric fractions

The change of PEC value at 3.0% nanoparticle volumetric fraction according to nanoparticle type is presented in Fig. 10.

PEC values higher than 1 for all nanoparticle shapes. This shows that the increasing to heat transfer amount is higher than the increasing to pressure drop in serpentine microtube with using Al_2O_3 -water nanofluid.

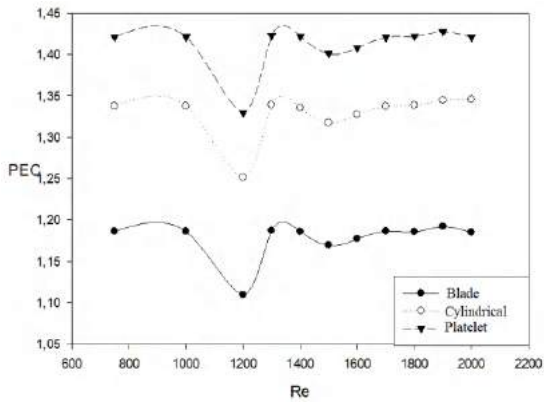


Fig. 10. Variation of PEC value according to nanoparticle type at 3.0% nanoparticle volumetric fraction.

Velocity and temperature distributions of different Reynolds numbers (Re = 750, Re = 1400 and Re = 2000) of Al₂O₃-water nanofluid with blade type and 3.0% nanoparticle volume fraction in serpentine channel are shown in Fig. 11 and Fig. 12. From the figures, it was observed that flow velocity increases and fluid temperature decreases with increasing Reynolds numbers.

Fig. 12. Temperature distributions of different Reynolds numbers with 3.0% nanoparticle volume fraction and blade type nanoparticle in serpentine microtube, (a) Re = 750, (b) Re = 1400, (c) Re = 2000.

Velocity and temperature distributions of different Reynolds numbers (Re = 750, Re = 1400 and Re = 2000) of Al₂O₃-water nanofluid with cylindrical type and 3.0% nanoparticle volume fraction in serpentine channel are shown in Fig. 13 and Fig. 14. From the figures, it was observed that flow velocity increases and fluid temperature decreases with increasing Reynolds numbers.

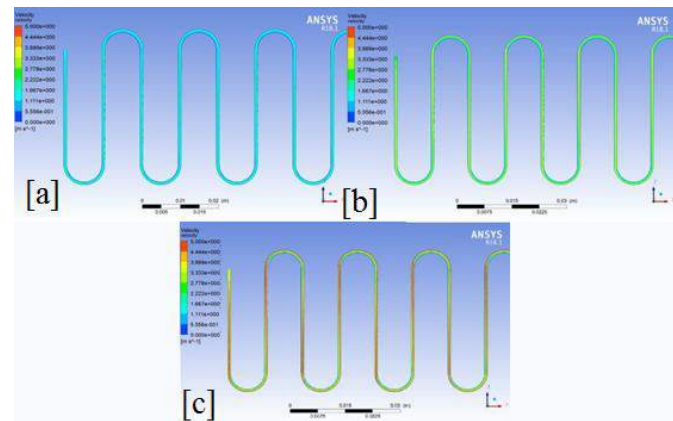


Fig. 11. Velocity distributions of different Reynolds numbers with 3.0% nanoparticle volume fraction and blade type nanoparticle in serpentine microtube, (a) Re = 750, (b) Re = 1400, (c) Re = 2000.

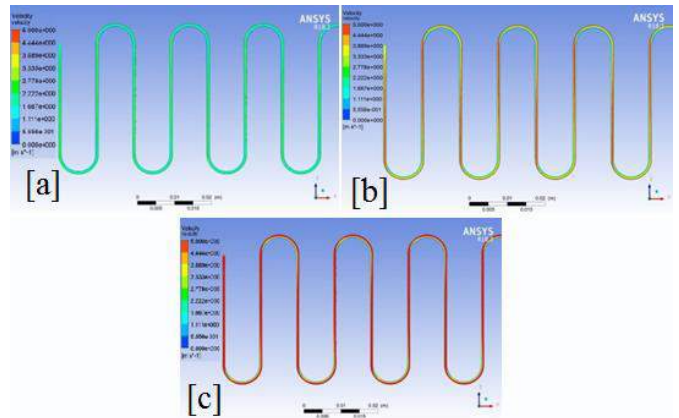


Fig. 13. Velocity distributions of different Reynolds numbers with 3.0% nanoparticle volume fraction and cylindrical type nanoparticle in serpentine microtube, (a) Re = 750, (b) Re = 1400, (c) Re = 2000.

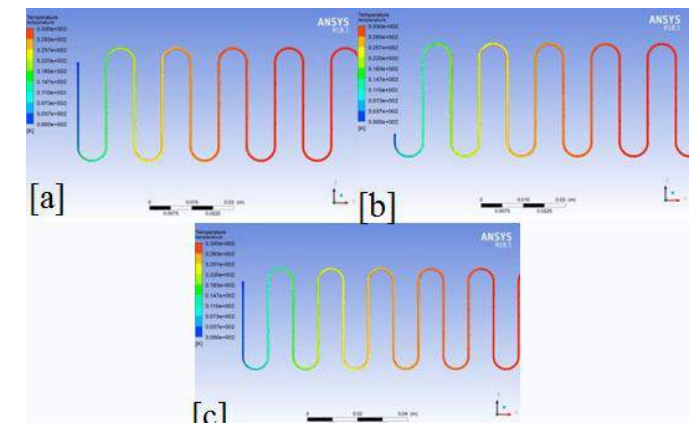
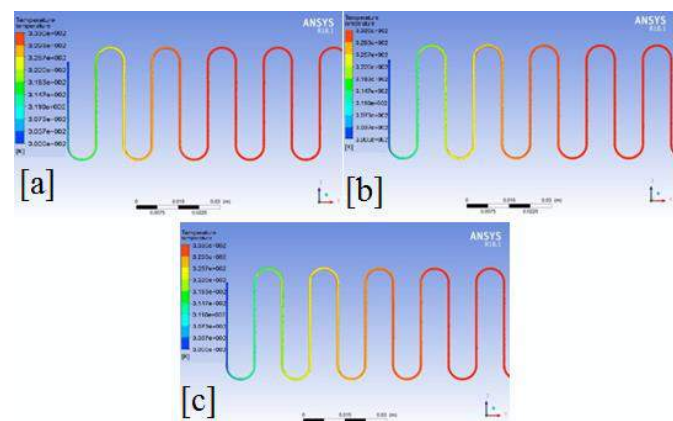


Fig. 14. Temperature distributions of different Reynolds numbers with 3.0% nanoparticle volume fraction and cylindrical type nanoparticle in serpentine microtube (a) Re = 750, (b) Re = 1400, (c) Re = 2000.

Velocity and temperature distributions of different Reynolds numbers (Re = 750, Re = 1400 and Re = 2000) of Al₂O₃-water nanofluid with platelet type and 3.0% nanoparticle volume fraction in serpentine channel are shown in Fig. 15 and Fig. 16. From the figures, it was observed that flow velocity increases and fluid temperature decreases with increasing Reynolds numbers.

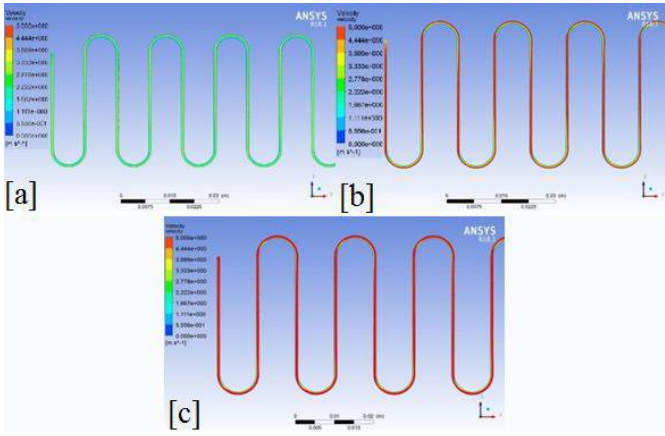


Fig. 15. Velocity distributions of different Reynolds numbers with 3.0% nanoparticle volume fraction and platelet type nanoparticle in serpentine microtube, (a) $Re = 750$, (b) $Re = 1400$, (c) $Re = 2000$.

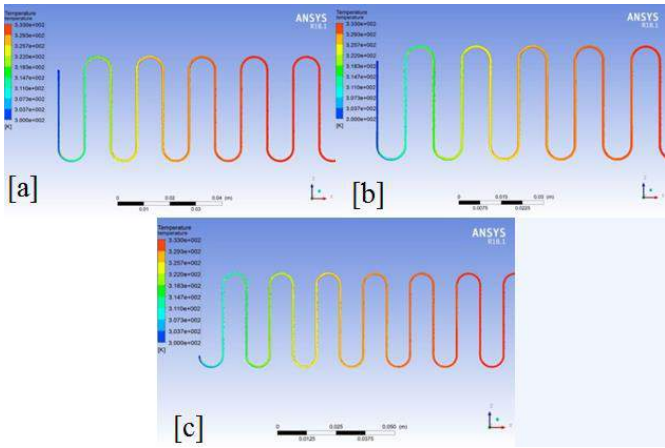


Fig. 16. Temperature distributions of different Reynolds numbers with 3.0% nanoparticle volume fraction and platelet type nanoparticle in serpentine microtube, (a) $Re = 750$, (b) $Re = 1400$, (c) $Re = 2000$.

Velocity vectors of 3.0% nanoparticle volume fraction Al_2O_3 -water nanofluid with platelet nanoparticle type on $Re = 2000$ in serpentine microtube is shown Fig. 17.

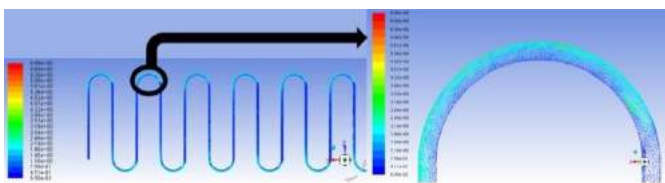


Fig. 17. Vectorel velocity distribution of 3.0% nanoparticle volume fraction Al_2O_3 -water nanofluid with platelet nanoparticle type on $Re = 2000$ in serpentine microtube

4. Discussion and Conclusions

In this study, 1.0%, 2.0% and 3.0% nanoparticle volume fractions of Al_2O_3 -water nanofluid with platelet, blade and cylindrical

nanoparticle shapes numerically analyzed under laminar flow ($750 \leq Re \leq 2000$) condition.

The findings of the study are summarized below:

1. Nusselt number increases with the increasing Reynolds number for all nanoparticle shapes.
2. Darcy friction factor decreases with the increasing Reynolds number for all nanoparticle shapes.
3. Darcy friction factor did not change for all nanoparticle shapes of Al_2O_3 -water nanofluid.
4. It has been determined that the average Nusselt number increases with the volume fraction. Therefore, the highest convection heat transfer performance value are obtained at 3.0% nanoparticle volume fraction.
5. The highest convective heat transfer performance is observed with the platelet nanoparticle shape.
6. The highest PEC value is obtained for platelet type nanoparticle with 3.0% nanoparticle volumetric fraction.

Nomenclature

- A Area (m^2)
- D Diameter (m)
- t Thickness (m)
- p Pitch spading (m)
- l Straight section (m)
- T Temperature (K)
- P Pressure (Pa)
- ρ Density ($kg \cdot m^{-3}$)
- c_p Specific heat ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
- q'' Heat flux ($W \cdot m^{-2}$)
- h Heat transfer coefficient ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
- Φ Dissipation function
- ΔP Pressure difference (Pa)
- μ Dynamic viscosity (Pa s)
- \dot{m} Mass flow rate ($kg \cdot s^{-1}$)
- k Coefficient of thermal conductivity ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
- ΔT_{lm} Logarithmic mean temperature difference
- Re Reynolds Number
- f Darcy Friction Factor
- Nu Nusselt number

CFD	Computational Fluid Dynamics
PEC	Performance Evaluation Criterion
AR	Aspect ratio
Ψ	Sphericity
A_1, A_2	Viscosity coefficient for nanoparticle shapes
x, y, z	Cartesian coordinates (m)
u, v, w	Velocity components ($m\ s^{-1}$)

Timofeeva, E., Routbort, J., Singh, D. (2009). Particle shape effects on thermophysical properties of alumina nanofluids, *J. Appl. Physical*, 106.

Timofeeva, E., Yu, W., France, D., Singh, D., Routbort, J. (2011). Nanofluids for heat transfer: an engineering approach, *Nanoscale Research Letters*, 6-13.

Vanaki, M., Mohammed, H., Abdollahi, A., Wahid, M. (2004). Effect of nanoparticle shapes on the heat transfer enhancement in a wavy channel with different phase shifts, *Journal Mol. Liq.*, (196), 577-588.

Subscript

i	Inlet
f	Fluid
nf	Nanofluid
p	Particle
bf	Base fluid
w	Wall
b	Bulk
o	Outlet
r, θ , z	Cylindrical coordinates directions

References

- Aliabadi, M., Rahimpour, F., Sartipzadeh, O., Pazdar, S. (2017). Heat transfer enhancement by combination of serpentine curves and nanofluid flow in microtube. *Experimental Heat Transfer*, 30(3), 235-252.
- Bejan, A., (2013). Convection Heat Transfer, *John Wiley & Sons*, (4), Hoboken NJ.
- Choi, S U.S., and Eastman, J A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *United States: N. p.*
- Corcione, M. (2010). Heat transfer features of buoyancy-driven nanofluids inside rectangular enclosures differentially heated at the sidewalls. *International Journal Thermal Science*, (49), 1536-1546.
- Elias, M., Mahbul, M., Saidur, R., Sohel, R., Shahrul, M., Khaleduzzaman, S., Sadeghipour, S. (2014). Experimental investigation on the thermo-physical properties of Al_2O_3 nanoparticles suspended in car radiator coolant, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, (54), 48-53.
- Ismail, M. ve Fotowat, S. (2015). Simulation of Al_2O_3 -ATF nanofluid in a compact heat exchanger, *Proceedings of the 2nd International Conference on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer*, 149-157.
- Sahin, B., Comaklı, K., Comaklı, O., Yılmaz, M. (2015). Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi, *Mühendis ve Makine Cilt-Engineer and Machine*, 47(559), 29-34.



Identification of COVID-19 from Cough Sounds Using Non-Linear Analysis and Machine Learning

Fatma Zehra Solak ^{1*}

^{1*} Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Software Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5035-7575), fzdogus@ktun.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010723)

ATIF/REFERENCE: Solak, F. (2021). Identification of COVID-19 from Cough Sounds Using Non-Linear Analysis and Machine Learning. *European Journal of Science and Technology*, (28), 710-716.

Abstract

Automatic diagnosis of COVID-19 has an active role in reducing the spread of the disease by minimizing interaction with people. Machine learning models using various signals and images form the basis of automatic diagnosis. This study presents the machine learning based models for detecting COVID-19 infection using 'Virufy' dataset containing cough sound signals labeled as COVID-19 and Non-COVID-19. Since the number of COVID positive coughs in the set is less than those of COVID negative, firstly, data balancing was performed with the ADASYN oversampling technique in the study. Then, features were extracted by non-linear analysis of cough sounds using Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (M DFA), Lempel-Ziv Complexity (LZC) and entropy measures. Later, the most effective features were selected by ReliefF method. Finally, five machine learning algorithms, namely Support Vector Machine with Radial Basis Function (SVM-RBF), Random Forest (RF), Adaboost, Artificial Neural Network (ANN), k Nearest Neighbor (kNN) were used to identify cough sounds as COVID-19 or Non-COVID19. As a result of the study, the cough sounds of COVID-19 patients and Non-COVID19 subjects were identified with 95.8% classification accuracy thanks to the RBF kernel function of SVM and the selected effective features. With this classifier, 93.1% sensitivity, 98.6% specificity, 98.6% precision, 0.92 kappa statistical values and 93.2% area under the ROC curve were obtained.

Keywords: COVID-19, Cough Sounds, Entropy, Machine Learning, M DFA, LZC, SVM.

Doğrusal Olmayan Analiz ve Makine Öğrenimi Kullanılarak Öksürük Seslerinden COVID-19'un Tanımlanması

Öz

COVID-19'un otomatik teşhisi, insanlarla etkileşimi en aza indirerek hastalığın yayılmasını azaltmada aktif bir role sahiptir. Çeşitli sinyal ve görüntüleri kullanan makine öğrenmesi modelleri, otomatik tanımlamanın temelini oluşturur. Bu çalışma, COVID-19 ve COVID-19 değil olarak etiketlenmiş öksürük ses sinyallerini içeren 'Virufy' veri setini kullanarak COVID-19 enfeksiyonunu tespit etmek için makine öğrenmesi tabanlı modeller sunmaktadır. Veri setindeki COVID pozitif öksürük sayısı, COVID negatif olanlardan daha az olduğu için çalışmada öncelikle ADASYN aşırı örnekleme tekniği ile veri dengeleme yapılmıştır. Ardından, Çokfraktallı Eğimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi (Multifraktal Detrended Fluctuation Analysis - M DFA), Lempel-Ziv Karmaşıklık (Lempel-Ziv Complexity-LZC) ve entropi ölçümleri kullanılarak öksürük seslerinin doğrusal olmayan analizi ile öznelikler çıkarılmıştır. Daha sonra ReliefF yöntemi ile en etkili öznelikler seçilmiştir. Son olarak, öksürük seslerini COVID-19 veya değil olarak tanımlamak için, Radyal Tabanlı Çekirdek fonksiyona sahip Destek vektör Makineleri (Support Vector Machine with Radial Basis Function-SVM-RBF), Rastgele Orman (Random Forest-RF), Adaboost, Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network -ANN), k En Yakın Komşuluk (k Nearest Neighbor -kNN) olmak üzere beş makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, radyal tabanlı çekirdek fonksiyonuna sahip destek vektör makinesi ve seçilen etkin öznelikler sayesinde COVID-19 hastalarının ve COVID19 olmayan deneklerin öksürük sesleri %95.8 sınıflandırma doğruluğu ile belirlenmiştir. Bu sınıflandırıcı ile %93.1 duyarlılık, %98.6 özgüllük, %98.6 kesinlik, 0.92 kappa istatistik değerleri ve %93.2 ROC eğrisi altında kalan alan değeri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19, Öksürük Sesleri, Entropi, Makine Öğrenimi, M DFA, LZC, SVM.

* Corresponding Author: fzdogus@ktun.edu.tr

1. Introduction

COVID-19 caused by the corona virus (SARS-CoV-2) emerged in Wuhan, China, in December 2019 and became a serious public health problem by spreading into worldwide in a short time (Narin et al., 2021). There have been 233.503.524 confirmed cases of COVID-19, including 4.777.503 deaths, reported to World Health Organization (WHO) (as of 1th October 2021). Deaths arising from Covid-19 are increasing day by day. For this reason, early diagnosis and measures such as isolation, social distancing, hand washing frequently, not touching the face as much as possible and care for patients are key strategies for a better management of this epidemic (Horry et al., 2020; Manshouri, 2021).

Dry cough, headache, fever, fatigue, shortness of breath, muscle and sore throat are common symptoms of COVID-19 according to WHO (Manshouri, 2021; Mahmoud et al., 2021; Mouawad et al., 2021; Pal and Sankarasubbu, 2021). Dry cough is amongst more common as it is one of the early symptoms of respiratory tract infections and it occurs in 68% to 83% of the people who come for a medical examination (Mouawad et al., 2021; Pal and Sankarasubbu, 2021). Therefore, automatic diagnosis of COVID-19 from cough sound recordings using machine learning and signal processing methods has been one of the popular and important fields of study recently.

Imran et al. (2020) studied for diagnosis of COVID-19 from cough sound samples using classical machine learning and deep learning algorithms by distinguishing COVID-19 coughs and several types of Non-COVID19 coughs. Non-COVID19 cough samples and COVID-19 cough samples were identified with 92.85% accuracy using two deep learning-based classifiers. In another study (Bagad et al., 2020), researchers demonstrated the probability of finding COVID-19 through cough sounds with a 72% area under of ROC curve (AUC) by developing a CNN-based framework. Fakhry et al. (2021) use cough sounds with Mel- spectrogram, mel-frequency cepstral coefficients (MFCC), clinical features, Multi-Branch Deep Learning Network and obtain average AUC of 91%. Coppock et al. (2021) studied with cough and breathing sounds. They used Mel- spectrogram and ResNet. As a result of their study, 84.6% AUC were accessed. In a study (Pahar et al., 2021), authors present a machine learning based COVID-19 cough classifier which can discriminate COVID-19 positive coughs from both COVID-19 negative and healthy coughs recorded on a smartphone. They extracted MFCCs, log frame energies, zero crossing rate (ZCR) and kurtosis features from cough sounds. 98% and 94% AUC values were obtained with Resnet50 and LSTM respectively. Chaudhari et al. (2020) obtained 77.1% AUC by using cough sounds with Mel-spectrogram, MFCC, Clinical features and Ensemble Deep Learning Model. One of the data studied by Mahmoud et al. (2021) regarding the diagnosis of Covid-19 is cough sounds. In addition to coughing, they also examined breathing and speech sounds. MFCC, Spectral Bandwidth, Spectral Centroid, Spectral Roll-off, Zero Crossing Rate, RMS Energy, Skewness, Kurtosis, Variation, SEM features were used with Deep Model and Shallow classifiers. As a result of the study, average 96.4% AUC performance were obtained (Mahmoud et al., 2021). In the study (Manshouri, 2021), Power Spectral Density (PSD) based on Short Time Fourier Transform (STFT) and MFCC were chosen as the efficient feature extraction method for cough sounds. The coughs of subjects with COVID-19 and Non-COVID19 have

defined with 95.86% classification accuracy thanks to the RBF kernel function of SVM and the MFCC method.

As a result of the studies in the literature, it has been seen that cough sounds are of great importance in the diagnosis of COVID-19. Based on this inference, the aim of this study was established and the automatic diagnosis of COVID-19 was carried out using appropriate machine learning algorithms and “GitHub” open source cough dataset (GitHub n.d) “Virufy”. In this study, diagnosis is based on classification focusing on cough sounds of COVID-19 patients and Non-COVID19 subjects. Since previous studies generally used deep learning algorithms, spectrograms derived from cough sounds and MFCC features were considered. Whereas, the cough is a non-stationary acoustic event and can exhibit non-linear dynamics. Therefore, non-linear features of cough sounds should also be examined.

Within the scope of the study, non-linear analysis of cough sound signals was performed by Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MDFA) method, Lempel–Ziv Complexity (LZC) and entropy measures. Thus, 29 non-linear features were extracted from coughs. By using these features with different machine learning methods, the cough sounds of COVID-19 patients were separated from those of Non-COVID19. The results of the study show that COVID-19 cough sound samples can be identified with acceptable classification accuracy and AUC.

2. Material and Method

2.1. Dataset

Virufy dataset (Chaudhari et al., 2020) is used in this study. The dataset available on “GitHub” (Virufy COVID-19 Open Cough Dataset, GitHub). In the dataset, 121 cough sound segments exist belonging to sixteen subjects. 48 of these segments are labeled as COVID-19 since they belonged to 7 subjects with a positive PCR test. The other 73 segments belonging to 9 subjects whose tests are negative are labelled as Non-COVID19 coughs. Each segment is approximately 1 second long and sampling frequency of 48000 Hz.

2.2. Pre-processing

COVID-19 positive and negative cough sound segments in the Virufy dataset is unbalanced. Insufficient number of positive segments may result in poor COVID-19 and Non-COVID19 classification success. To effectively identify COVID-19 coughs, the ADASYN (He et al., 2008) oversampling technique is applied. The minor segments (positive) were balanced to the major segments (negative) by generating synthetic positive samples. Thus, a balanced dataset with a positive/negative ratio of approximately 1:1 (71 positive, 73 negative) was obtained. In total, 144 cough sounds were reached, which will be determined as COVID-19 or Non-COVID 19 through classification.

2.3. Feature Extraction and Selection

Cough sounds occurs by passing air flows from the lungs to the mouth and nasal cavities. Since the cough sound is produced by respiratory system, it can exhibit non-linear, irregular and unpredictability characteristics. Also, in general, the nature of many biomedical signals, including cough sounds, show spatial and temporal variations. For these reasons, nonlinear analysis of sounds should be carried out and thus their nonlinear features should be extracted to identify COVID-19 coughs.

This study, firstly, applied the MDFA method which is one of the nonlinear analysis methods to cough sounds. In this way, multifractal spectrum of each sound was created using the following steps of MDFA. Then, the first 23 features appearing in Table 1 were extracted from the spectrums. Fig. 1 shows a multifractal spectrum and how some features are extracted from it (Göğüş et al., 2020).

Steps of MDFA to produce multifractal spectrums (Ihlen, 2012; Marton et al., 2014);

- ✓ Computing the mean of the signals
- ✓ Creating the integrated series by summing the differences obtained by subtracting the mean value from each value in the series
- ✓ Fragmentation of integrated series and computing the local Root Mean Square (RMS) variation
- ✓ Finding local detrending of series
- ✓ Computing multifractal detrending, q-order RMS (qRMS)
- ✓ Computing q-order Hurst exponent (H_q) and q order mass exponent
- ✓ Computing q-order singularity exponent (h_q) and q-order singularity dimension (D_q)
- ✓ Creating the Multifractal Spectrum (the plot of h_q versus D_q)

The repeatability, predictability and complexity of sounds can be described by the LZC (Lempel and Ziv, 1976; Kaspar and Schuster, 1987) and entropy measures (Approximate Entropy – ApEn, Sample Entropy – SamEn, Permutation Entropy – PerEn, Shannon Entropy – ShEn and Renyi Entropy – RenEn) (Kaspar and Schuster, 1987; Pincus, 1991; Richman and Moorman, 2000). Therefore, LZC ApEn, SamEn, PerEn, ShEn and RenEn nonlinear features seen in Table 1 were also extracted from cough sounds. By extracting these features, in total, 29 nonlinear

features were obtained from cough sounds to detect COVID-19 coughs.

Although cough sounds were tried to be represented by 29 features in the study, it was considered that not all features would have the same effect on the distinction between COVID-19 and Non-COVID19, and some of them might be more effective than others. ReliefF (Kononenko, 1994) feature selection method was used to determine these most effective features. As a result, 9 features were selected as the most effective and classification of cough sounds into COVID-19 and Non-COVID19 were performed by using these effective features with different machine learning algorithm.

2.4. Classification

After the feature extraction and selection processes, this study was continued with the classification process. The diagnosis of COVID-19 was based on the classification of obtained features belonging to cough sounds from COVID-19 patients and Non-COVID19 subjects. Support Vector Machine with Radial Basis Function (SVM-RBF), Random Forest (RF), Adaboost, Artificial Neural Network (ANN), k Nearest Neighbor (kNN) machine learning algorithms were used as classifiers.

Assessment of the classifiers was carried out with k cross validation technique. Classically, the value of k is chosen as 10. Performance evaluation was made with classification accuracy (CA) in Eq. (7), sensitivity in Eq. (8), specificity in Eq. (9), precision in Eq. (10), kappa statistics in Eq. (11) and AUC metrics by benefitting the confusion matrix obtained at the end of each classification.

Table 2 represents the confusion matrix structure in the classifications of this study.

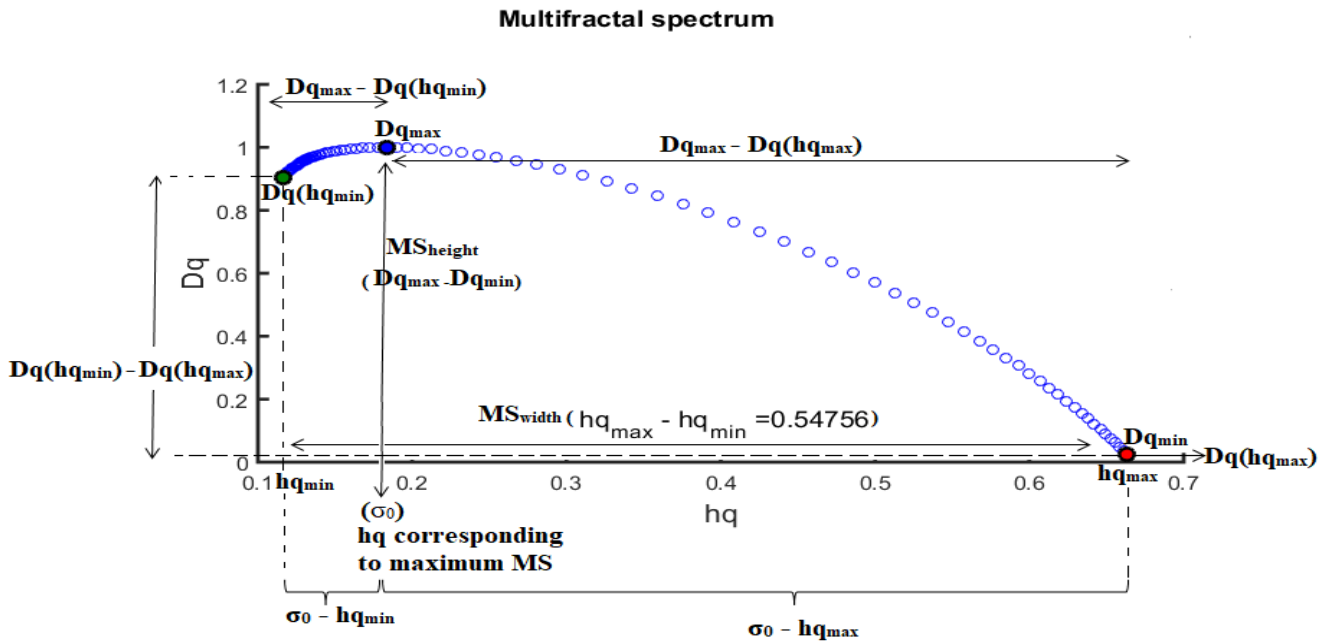


Fig. 1. Multifractal spectrum and extraction of some features

Table 1. Extracted nonlinear features of cough sounds

Feature Num.	Feature Name
F1	The mean of Hurst exponents.
F2	Maximum Hurst exponent value (Hq_{max}).
F3	Minimum Hurst exponent value (Hq_{min}).
F4	Generalized Hurst exponent.
F5	Maximum singularity exponent value (hq_{max}).
F6	Minimum singularity exponent value (hq_{min}).
F7	Mean value of singularity exponent values.
F8	Singularity exponent corresponding to maximum multifractal spectrum (σ_0) (hq value corresponding to max Dq value).
F9	Asymmetric index (AI) calculated using Eq. (1). $AI = \frac{\Delta\sigma_L - \Delta\sigma_R}{\Delta\sigma_L + \Delta\sigma_R}$ $\Delta\sigma_L = \sigma_0 - hq_{min}$ $\Delta\sigma_R = hq_{max} - \sigma_0$ <p style="text-align: right;">Eq.(1)</p>
F10	Horizontal distance between singularity exponent value corresponding to the maximum of multifractal spectrum and minimum singularity exponent ($\Delta\sigma_L$ in Eq. (1)).
F11	Horizontal distance between singularity exponent value corresponding to the maximum of multifractal spectrum and maximum singularity exponent ($\sigma_0 - hq_{max}$).
F12	Maximum value of multifractal spectrum (Dq_{max}).
F13	Mean value of multifractal spectrum values (Mean Dq).
F14	Skewness of Multifractal spectrum.
F15	Kurtosis of Multifractal spectrum.
F16	Variance of Multifractal Spectrum.
F17	Multifractal spectrum corresponding to maximum singularity exponent ($Dq(hq_{max})$).
F18	Multifractal spectrum corresponding to minimum singularity exponent ($Dq(hq_{min})$).
F19	Multifractal spectrum width calculated with Eq. (2). $MS_{width} = hq_{max} - hq_{min}$ <p style="text-align: right;">Eq.(2)</p>
F20	Multifractal spectrum height calculated with Eq. (3). $MS_{height} = Dq_{max} - Dq_{min}$ <p style="text-align: right;">Eq.(3)</p>
F21	Multifractal spectrum with left truncation as in Eq. (4). (Difference between maximum spectrum value and spectrum value corresponding min singularity exponent). $MS_{left} = Dq_{max} - Dq(hq_{min})$ <p style="text-align: right;">Eq.(4)</p>
F22	Multifractal spectrum with right truncation as in Eq. (5) (Difference between maximum spectrum and spectrum corresponding max singularity exponent). $MS_{right} = Dq_{max} - Dq(hq_{max})$ <p style="text-align: right;">Eq.(5)</p>
F23	Vertical distance in multifractal spectrum calculated as seen in Eq. (6). $MS_{vertical_distance} = Dq(hq_{min}) - Dq(hq_{max})$ <p style="text-align: right;">Eq.(6)</p>
F24	Lempel–Ziv Complexity (LZC)
F25	Approximate Entropy (ApEn)
F26	Sample Entropy (SamEn)
F27	Permutation Entropy (PerEn)
F28	Shannon Entropy (ShEn)
F29	Renyi Entropy (RenEn)

Table 2. Confusion matrix structure

	Predicted Class		
		Non-COVID19	COVID-19
True Class	Non-COVID19	TP	FN
	COVID-19	FP	TN

$$CA = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{Eq.(7)}$$

$$Sensitivity(Sens.) = \frac{TP}{TP+FN} \tag{Eq.(8)}$$

$$Specificity(Spec.) = \frac{TN}{TN+FP} \tag{Eq.(9)}$$

$$Precision (P)= \frac{TP}{TP+FP} \tag{Eq.(10)}$$

$$Kappa\ statistics(K) = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \tag{Eq.(11)}$$

Pe in Eq. (11) is calculated as in Eq. (12).

$$P_e = \frac{[(TP + FP) \times (TP + FN)] + [(FN + TN) \times (FP + TN)]}{(TP + TN + FP + FN)^2} \tag{Eq.(12)}$$

3. Results and Discussion

In order to achieve the aim of the study, primarily 29 nonlinear features were extracted from cough sounds, than 9 effective features to be used in the classification of coughs into COVID-19 and Non-COVID19 were selected by the ReliefF method. The selected features are shown in Table 3.

Table 3. Selected features by the ReliefF method

Feature Num.	Feature Name
F10	$\Delta\sigma L$
F18	Dq(hq _{min})
F21	MS _{left}
F23	MS _{vertical_distant}
F24	LZC
F26	SamEn
F27	PerEn
F28	ShEn
F29	RenEn

By using these selected 9 effective features with SVM-RBF, RF, Adaboost, ANN, kNN classification algorithms, the performances seen in Table 4 were obtained.

Table 4. Classification performances

Classifier	CA (%)	Sens (%)	Spec (%)	P (%)	K	AUC (%)
SVM-RBF	95.8	93.1	98.6	98.6	0.92	93.2
RF	90.7	83.5	98.6	98.3	0.82	87.5
Adaboost	89.6	83.5	95.8	95.3	0.79	84.7
ANN	91.6	85.0	98.6	98.4	0.83	88.7
kNN	84.0	78.1	90.1	89.1	0.68	77.4

As presented in Table 4, the highest performances for all measures were obtained using SVM classifier with RBF kernel. With 9 selected features and SVM-RBF, a classification accuracy of 95.8%, a kappa value of 0.92 and an AUC value of 93.2% were achieved. While the cough sounds of COVID-19 patients were accurately defined with 98.6% performance, the

coughs of those who did not have this disease could be predicted correctly with 93.1%. The confusion matrix obtained as a result of the SVM-RBF classifier algorithm is shown in Table 5. As seen in this table, only one of the cough sounds that indicate COVID-19 has been misclassified.

Table 5. Confusion matrix obtained by 9 selected features and SVM-RBF

		Predicted Class	
		Non-COVID19	COVID-19
True Class	Non-COVID19	68	5
	COVID-19	1	70

*Parameters= Kernel: RBF, Cost(c):9.90, Gamma(g): 0.49

Following SVM-RBF, higher performances were obtained with RF and ANN classifiers. With both classifiers, classification accuracies over 90% were achieved. These classifiers were able to identify COVID-19 cough sounds with very high accuracy (98.6%), just like SVM-RBF. However, these two classifiers were less successful than SVM-RBF in identifying cough sounds that do not indicate COVID-19. According to Table 4, it could be said that the kNN classifier provided the lowest performance in terms of evaluation criteria.

As in this study, there are several studies in literature containing analysis and classification of cough sounds for the diagnosis of COVID-19. However, most of the studies used different datasets. For this reason, it was not possible to compare this study with previous studies in detail. The comparison has been made with very few studies using the verify dataset as one of the datasets they studied as seen in Table 6.

Table 6 shows that this study is competitive with performance to other studies that use the same dataset as one of their sets in terms of different performance measures. However, it should be noted that most of these studies in the literature considered not only the Virufy data set, but also different data sets, as well as sounds other than cough sounds, and gave the performance criteria seen in Table 6 as average values. Studies in the literature have generally used similar feature extraction methods, especially MFCC, for the analysis of cough sound signals. This study, unlike other studies, examined the nonlinear structure of cough sounds and extracted their nonlinear features. With the use of these features, the study achieved its purpose and was able to identify the positive and negative labeled cough sounds of COVID-19 with high success.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, it was aimed to identify cough sounds with high accuracy as COVID-19 and Non-COVID19. In accordance with this purpose, 29 nonlinear features were extracted and then the most effective 9 features were selected by ReliefF method. When these effective features are examined, it is seen that, 4 of them are features of multifractal spectrums, other 4 features are entropies and the remaining 1 feature is the LZC. So, besides LZC, both the features extracted from the multifractal spectrums created by MDFA method and the entropy features that analyze the complexities of the sounds were effective in identifying cough sounds.

Table 6. Comparison to previous studies for the cough-based COVID-19 diagnosis.

Research	Dataset	Sound Type	Features	Models/Classifiers	Results
Chaudhari et al., (2020)	Coswara Coughvid Virufy	Cough	Mel- spectrogram MFCC	Ensemble Deep Learning Model	77.1% AUC
Mahmoud et al. (2021)	Coswara Virufy	Cough Breathing Speech	MFCC – RMS – ZCR Spectral Rolloff / Centroid/etc.	Deep Model Shallow classifiers	96.4% AUC 96% CA
Manshour (2021)	Virufy	Cough	STFT – MFCC	SVM classifier with RBF kernel	95.8% CA 98.6% sens. 91.7% spec.
This study	Virufy	Cough	Nonlinear features (MDFA based and entropy features)	SVM-RBF RF Adaboost ANN kNN	95.8% CA 93.1% sens. 98.6% spec. 98.6% Precision 0.92% Kappa 93.2% AUC

Considering the classification performances of different machine learning algorithms with effective features, it is seen that the most successful classifier algorithm is SVM-RBF. Based on the results, we can say that the SVM-RBF classifier better deal with the nonlinear behavior of COVID-19/Non-COVID19. The study has been promising for automatic diagnosis of COVID-19 using cough sounds. However, the number of data is low. This has been the limitation of the study. Future work will address this constraint involving larger datasets and, as the amount of data increases, focus on the automatic diagnosis of COVID-19 deep learning methods.

References

- A. Fakhry, X. Jiang, J. Xiao, G. Chaudhari, A. Han, and A.Khanzada, "Virufy: A Multi-Branch Deep Learning Network for Automated Detection of Covid-19," preprint from arXiv:2103.01806, 2021.
- A. Imran, I. Posokhova, H. N. Qureshi, U. Masoos, M. S. Riaz, K. Ali, C. N. John, M. I. Hussain, and M. Nabeel, "AI4COVID-19: AI enabled preliminary diagnosis for COVID-19 from cough samples via an app.," Inform Med Unlocked, vol. 20, pp. 100378, 2020.
- A. Lempel, and J. Ziv, "On the Complexity of Finite Sequences," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 22, no.1, pp. 75-81, 1976.
- A. Mahmoud, K. H. Rahouma, and S.M. Ramzy, "Pay attention to the speech: COVID-19 diagnosis using machine learning and crowdsourced respiratory and speech recordings," Alexandria Engineering Journal, 2021. In press.
- A. Narin, C. Kaya, and Z. Pamuk, "Automatic detection of coronavirus disease (COVID-19) using X-ray images and deep convolutional neural networks," Pattern Anal Appl, pp. 1-14, 2021.
- A. Pal, and M. Sankarasubbu, "Pay Attention to the cough: Early Diagnosis of COVID-19 using Interpretable Symptoms Embeddings with Cough Sound Signal Processing," in 36th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC '21). March 22–26, 2021.
- E. A. Ihlen, "Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in matlab," Front Physiol, vol. 3, pp. 141, 2012.
- F. Kaspar, and H. Schuster, "Easily calculable measure for the complexity of spatiotemporal patterns," Phys Rev A Gen Phys, vol. 36, no. 2, pp. 842-848, 1987.
- F. Z. Göğüş, G. Tezel, S. Özşen, S. Küçüktürk, H. Vatansev, and Y. Koca, "Identification of Apnea-Hypopnea Index Subgroups Based on Multifractal Detrended Fluctuation Analysis and Nasal Cannula Airflow Signals," Traitement du Signal, vol. 37, no. 2, pp. 145-156, 2020.
- G. Chaudhari, X. Jiang, A. Fakhry, A. Han, j. Xiao, S. Shen, and A. Khanzada, "Virufy: Global Applicability of Crowdsourced and Clinical Datasets for AI Detection of COVID-19 from Cough," ArXiv, 2020. 2011.13320.
- H. Coppock, A. Gaskell, P. Tzikaris, A. Baird, L. Jones, and B. W. Schuller, "End-2-End COVID-19 Detection from Breath & Cough Audio," Preprint from arXiv:2102.08359v1, 2021.
- H. He, Y. Bai, E. A. Garcia, and S. Li, "ADASYN: Adaptive synthetic sampling approach for imbalanced learning," in 2008 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE World Congress on Computational Intelligence), pp. 1322-1328, 2008.
- I. Kononenko, "Estimating Attributes: Analysis and Extensions of Relief," in European Conference on Machine Learning, pp. 171-182, 1994.
- J. S. Richman, and J. R. Moorman, "Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy," Am J Physiol Heart Circ Physiol, vol. 278, no. 6, pp. H2039-49, 2000.
- L. F. Márton, S. t. Brassai, L. Bako, and L. Losonczy, "Detrended Fluctuation Analysis of EEG Signals," Procedia Technology, vol. 12, pp. 125-132, 2014.
- M. J. Horry, S. Chakraborty, M. Paul, A. Ulhaq, B. Pradhan, M. Saha, and N. Shukla, "COVID-19 Detection Through Transfer Learning Using Multimodal Imaging Data," IEEE Access, vol. 8, pp. 149808-149824, 2020.
- M. N. Manshour, "Identifying COVID-19 by using spectral analysis of cough recordings: a distinctive classification study," Cogn Neurodyn, pp. 1-15, 2021.
- M. Pahar, M. Klopper, R. Warren, and T. Niesler, "COVID-19 cough classification using machine learning and global smartphone recordings," Comput Biol Med, vol. 135, pp. 104572, 2021.
- P. Bagad, A. Dalmia, J. Doshi, A. Nagrani, P. Bhamare, A. Mahale, S. Rane, N. Agarwal, and R. Panicker, "Cough Against: COVID Evidence of COVID-19 Signature in Cough Sounds," Preprint from arXiv, 2020.
- P. Mouawad, T. Dubnov, and S. Dubnov, "Robust Detection of COVID-19 in Cough Sounds: Using Recurrence Dynamics

- and Variable Markov Model," SN Comput Sci, vol. 2, no. 1, pp. 34, 2021.
- S. M. Pincus, "Approximate entropy as a measure of system complexity," Proc. Nati. Acad. Sci., vol. 88, pp. 2297-2301, 1991.
- Virufy COVID-19 Open Cough Dataset, GitHub - virufy/virufy_data, (n.d.). https://github.com/virufy/virufy_data (accessed October 08, 2021). Virufy, Editor. 2020.



A Solar Charger for Lead-Acid Batteries in an Autonomous PV System

Ersagun Kürşat Yaylacı^{1*}

^{1*} Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0358-5617),
ekyaylaci@karabuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010771)

ATIF/REFERENCE: Yaylacı, E.K. (2021). A Solar Charger for Lead-Acid Batteries in an Autonomous PV System, (28), 717-721.

Abstract

Photovoltaic energy is an intermittent energy source because the sun is gone away from evening to morning. Therefore, the batteries have a vital role in getting continuous energy sources for the autonomous system. The battery highly affects the cost of the system. Also, the life span of the batteries can not be sufficient for the consumers. At this point, the charging algorithm is so important because it protects the battery, the battery's life recycling, and the back cost time of the whole system. In this paper, a battery charger is designed to get an efficient autonomous photovoltaic system. The photovoltaic system is designed as two parallel panels, a DC-DC buck converter, and two series batteries. The lead-acid batteries are used because of the lesser cost. The lead-acid battery has three charge regions such as bulk, absorption, and float regions. The bulk region is examined for different irradiation levels in this study because the bulk region is more critical for the system's efficiency. The charge algorithm changes the duty cycle of the buck converter considering the available irradiation level. The photovoltaic charger should satisfy both the maximum power and proper charge operation for the related battery/batteries. The conventional perturb and observe algorithm is modified to eliminate drawbacks such as oscillation around maximum power and the wrong decision law when the irradiation changes. The modified perturb and observe algorithm is used as a photovoltaic charger, and the simulation results present the superiorities of the proposed method.

Keywords: Solar charger, Battery Control, Lead-acid battery, Buck converter, P&O method.

Otonom bir PV Sistemindeki Kurşun Asitli Piller için Solar Şarj Cihazı

Öz

Fotovoltaik enerji, güneş battığında kesildiğinden kesintili bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle piller, otonom sistem için sürekli enerji kaynakları elde etmede hayati bir role sahiptir. Pil, sistemin maliyetini büyük ölçüde etkiler. Ayrıca pillerin kullanım ömrü tüketiciler için yeterli olamamaktadır. Bu noktada şarj algoritması çok önemlidir çünkü pili, pilin ömrünün geri dönüşümünü ve tüm sistemin geri dönüş maliyetini korur. Bu çalışmada, verimli bir otonom fotovoltaik sistem elde etmek için bir pil şarj cihazı tasarlanmıştır. Fotovoltaik sistem iki paralel panel, bir DC-DC dönüştürücü ve iki seri pil olarak tasarlanmıştır. Maliyeti daha düşük olduğu için kurşun asitli piller kullanılmaktadır. Kurşun-asit akü, yığın, emilim ve yüzer bölgeler gibi üç şarj bölgesine sahiptir. Bu çalışmada, yığın bölgesi, sistemin verimliliği noktasında daha kritik olduğundan farklı ışınlama seviyeleri için incelenmiştir. Şarj algoritması, mevcut ışınlama seviyesini göz önünde bulundurarak dönüştürücünün görev döngüsünü değiştirir. Fotovoltaik şarj cihazı, ilgili pil/piller için hem maksimum güç hem de doğru şarj işlemi sağlamalıdır. Klasik değiştir ve gözle algoritması, maksimum güç etrafındaki salınım ve ışınım değişikliğinde yanlış kontrol kuralı uygulama gibi dezavantajları ortadan kaldırmak için modifiye edilmiştir. Geliştirilmiş değiştir ve gözle algoritması bir fotovoltaik şarj cihazı olarak kullanılmıştır ve simülasyon sonuçları önerilen yöntemin üstünlüklerini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Solar şarj cihazı, Batarya kontrol, Kurşun asit batarya, DC-DC alçaltıcı tip dönüştürücü, Değiştir&Gözle Yöntemi.

* Corresponding Author: ekyaylaci@karabuk.edu.tr

1. Introduction

The whole world, the researchers investigate how to get green energy without polluting the environment because fossil fuels are coming to an end soon (Delihanlar et al., 2019). Also, fossil fuels cause environmental concerns, global warming, unfortunately. Renewable energy sources can thankfully solve the electrical energy demand. One of the more crucial renewable energy sources is photovoltaic (PV) energy. The sun power being able to get to the earth in one day is enough to power the world's total energy demands for one year (S. Hiwale et al., 2014). There is a severe increase as 4% global sharing and 13% installed PV capacity from 2015 to 2020 (Sinsel et al., 2020).

The PV system can be installed and/or used as a grid-connected (GC) or autonomous system. The grid-connected system is always preferred near the residential areas or the electrical transmission lines. On the other hand, consumers usually prefer to use the autonomous photovoltaic system in remote areas. The batteries may not be used for GC topology because there is always energy to be supplied grid-side. However, battery usage is an obligation for the autonomous PV system when the sun is gone away in the evening. There are many rechargeable battery types such as lead-acid (LA), NiCad, NiMH, LiCoO₂, LiMn₂O₄ and LiFePO₄ in the industry. LA battery can be preferred in the PV system due to having some advantages as satisfying high current, having low impedance, efficiency, tolerance to overcharge, and lowest cost (Hua et al., 2010; Padhee et al., 2016). In this paper, the LA battery is used due to the mentioned advantages.

The efficiency of PV panels is so low, known as 9-17% (Abu Eldahab et al., 2014). Moreover, the available power can not be evaluated its maximum capacity properly if any algorithm does not use. The needed algorithm is called maximum power point tracking (MPPT) in the literature, and the algorithm necessity stems from the nature of the PV characteristics. On the other hand, the batteries need a charge algorithm known as a battery charger (BC) to protect themselves and their lifecycles. Because of these reasons, the PV system needs an interface, DC-DC converter, between the panels and battery. The type of used DC-DC converter should be selected concerning the produced and output voltage level. There are many studies about the PV charger in the literature, and some of them are summarized as follow.

A new BC is offered using the zero-current switching technique in the DC-DC buck converter (Chuang, 2010). The proposed BC can get soft switching and so low switching loss, stress. The fuzzy logic based proportional integral derivative (PID) controller is suggested for BC (Kumar et al., 2019). DSP controlled high frequency battery charger is proposed for PV systems (Özbay et al., 2015). In another study (Özbay et al., 2016), a resonant converter is offered for the battery charger in PV Systems. In (Koutroulis et al., 2004), the current measurement effect is reduced in the BC for the autonomous PV system. In (Motahhir et al., 2018), some PV parameters not provided by the manufacturer is determined first. Also, the incremental conductance (IC) algorithm is modified to prevent some drawbacks of the conventional IC. The same algorithm is also modified in (Belkaid et al., 2016; Tey et al., 2014) for zero oscillations and accurate response for changing irradiation conditions. In (Padhee et al., 2016), the synchronous buck converter is used as the interface between the LA and PV panel. LA battery is charged in two regions, bulk and float charge mode.

The same study (Yilmaz et al., 2018) is made for charging the battery quickly, reducing losses, and increasing the battery's life cycle. Another study for LA batteries (López et al., 2016) focuses on the controller design. The LA battery is charged into three regions by using the designed digital cascade PI loops.

In this paper, the classic perturb and observe (PO) method is improved considering the widely known drawbacks in the literature. A three-stage battery charge algorithm is used to charge the batteries. The maximum available power is transferred to the battery in the bulk region thanks to the modified PO (MPO) method. Therefore, the charge time can be decreased, and the efficiency of the system can be improved.

2. Material and Method

The photovoltaic system is designed as a mini solar system with two parallel panels having 280W, a DC-DC buck converter, and two series batteries of 100Ah. The minimum necessities such as a mini-fridge and several led lamps are considered for a home when the system is designed. However, the inverter or loads do not use because the main focal point is the PV battery charger. The autonomous PV system used in this paper diagram is given as in Fig. 1. The parameter of the system is tabulated as given in Table 1.

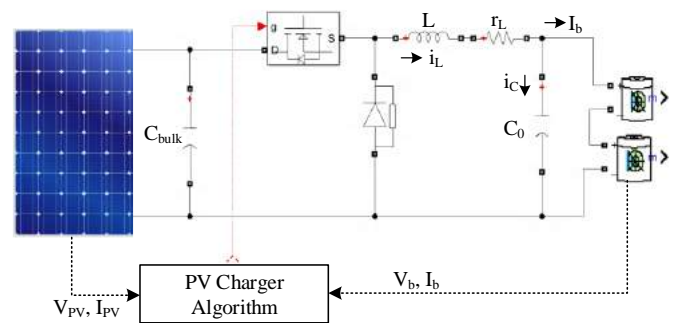


Fig. 1. The used PV System

Table 1. The parameters of the system

PV panels	Maximum power	280W
	Cells per module	72
	Open circuit voltage	44.06V
	Short circuit current	8.23A
	Maximum power voltage for 1000 W/m ²	36.72V
Input filter	Bulk capacitor	150µF
Buck converter	Inductance	200µH
	Parasitic resistance	30mΩ
	Switching frequency	20kHz
Battery	Nominal voltage	12V
	Rated Capacity	100Ah

2.1. PV System

In this study, two parallel 280W panels are used. The I-V and P-V characteristics are presented for different irradiation level as in Fig. 2 and Fig. 3, respectively.

2.2. The DC-DC Buck Converter

The behaviour of the buck converter can be changed according to the switch on/off position. Considering the battery as a resistive load (R_b) and neglecting the parasitic resistance to get an easier analysis, when the switch is on

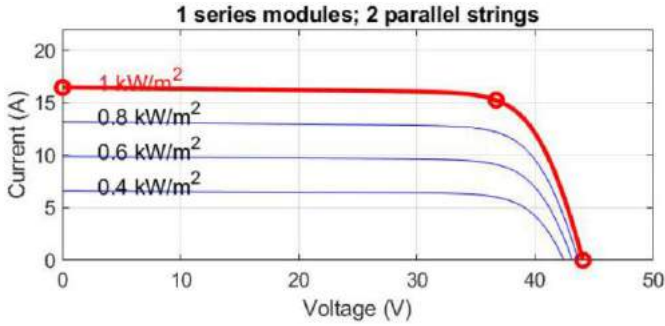


Fig. 2. I-V characteristics of the panels

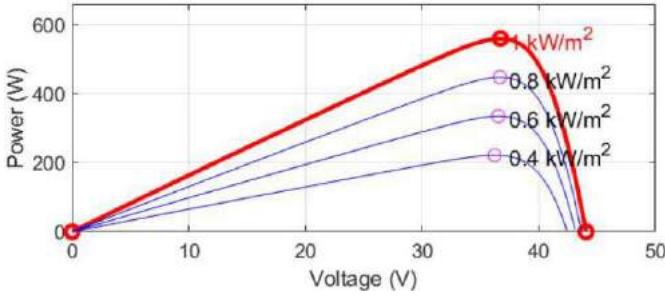


Fig. 3. P-V characteristics of the panel

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L}(V_{PV}(t) - V_b(t)) \quad (1)$$

$$\frac{dV_b(t)}{dt} = \frac{1}{C}\left(i_L(t) - \frac{V_b(t)}{R_b}\right) \quad (2)$$

where i_L is the current of the inductor, L is the inductance value, V_{PV} is the panel voltage, V_b is the battery voltage, C is the capacitance value, R_b represents the battery. If the switch is off, Eq. 3 and 4 can be obtained easily.

$$\frac{di_L(t)}{dt} = -\frac{V_b(t)}{L} \quad (3)$$

$$\frac{dV_b(t)}{dt} = \frac{1}{C}\left(i_L(t) - \frac{V_b(t)}{R_b}\right) \quad (4)$$

By using Eq. 1-Eq. 4

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L}(uV_{PV}(t) - V_b(t)) \quad (5)$$

$$\frac{dV_b(t)}{dt} = \frac{1}{C}\left(i_L(t) - \frac{V_b(t)}{R_b}\right) \quad (6)$$

where u is the control signal of the switching device. The buck converter is designed as in (Kazimierczuk, 2016), and more detail is not given because it is out of scope for this study.

2.3. Battery

There are two LA batteries in series, as seen in Fig. 1, and the rated capacities are of 100Ah. It has been already modelled in Matlab/Simulink environment. The LA batteries are charged in three different regions as bulk (Region 1), absorption (Region 2) and float (Region 3). In the bulk region, the algorithm should get

the maximum available power from the PV source. The absorption region is used to protect the battery, and the maximum battery voltage is used to complete the charge operation in this region. The float region is used to prevent the discharge of the battery. Region 1 can be used to recover the battery approximately 80-90%. In this study, the bulk region is examined because the operating time of the simulation program has a limitation. The flowcharts of the LA battery and bulk MPPT charging are given in Fig. 4 and Fig. 5, respectively.

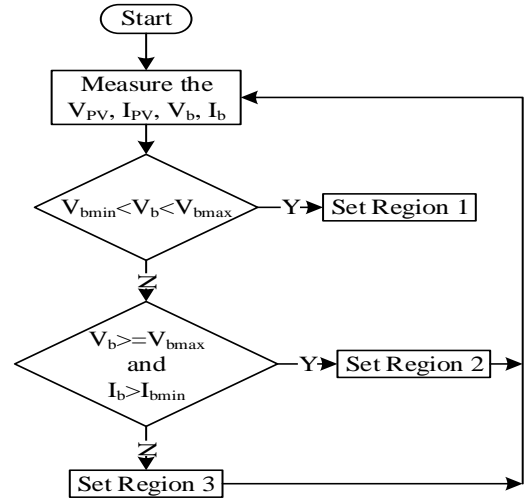


Fig. 4. The flowchart of the LA battery charging

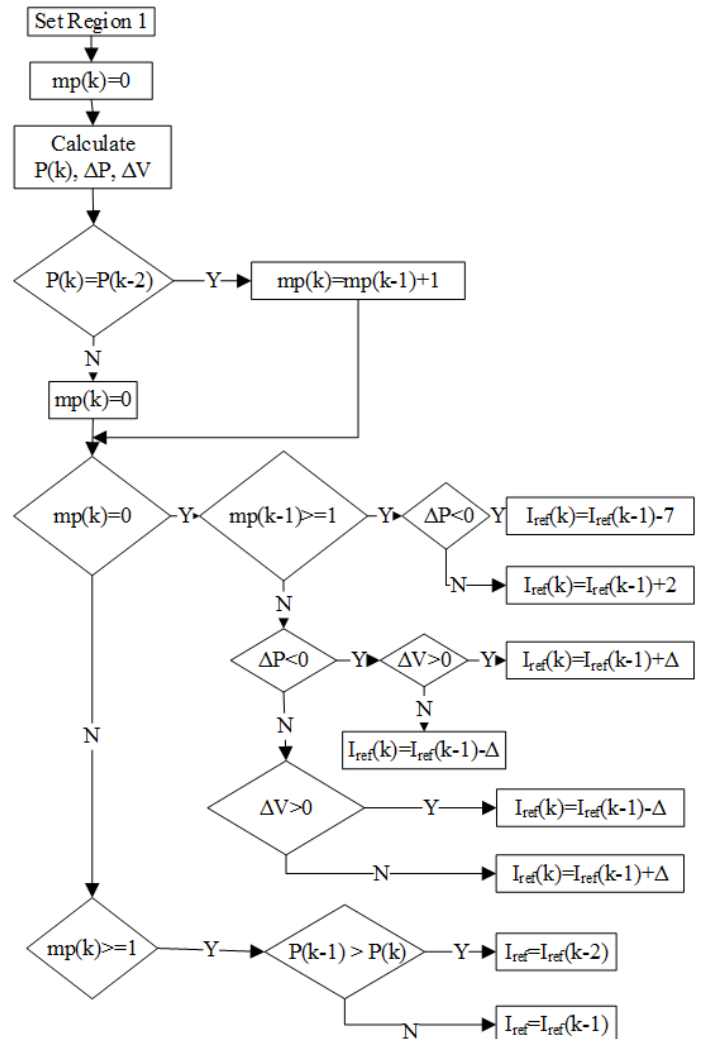


Fig. 5. The flowchart of the bulk MPPT charging

Perturb and observe (PO) method, which is a search technique used to find a maximum point, is widely used in renewable energy systems (Yazıcı, Yaylacı, & Yalçın, 2021; Yazıcı, Yaylacı, Cevher, et al., 2021). However, the wrong decision rule, selection of the optimum step size, etc., are the drawbacks of this method. Therefore, the PO method is modified considering the detection of the irradiation changing, prevent the oscillation around the maximum point, and using a bigger step size for the changing irradiation.

3. Results and Discussion

3.1. Results

The proposed PV battery charger is applied to the system considering the changing irradiation in Fig. 6.

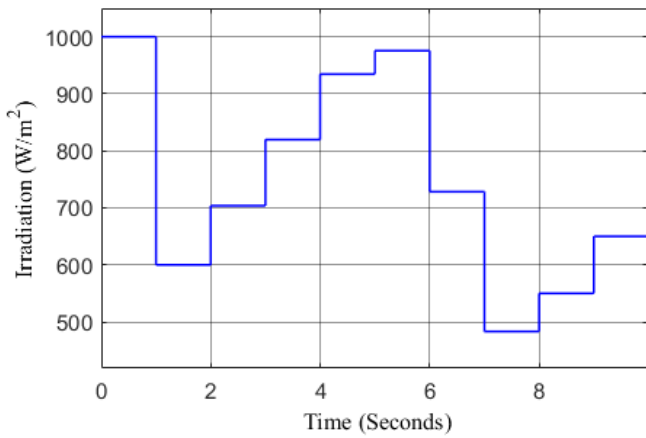


Fig. 6. Applied irradiation profile

Fig. 7 gives the produced reference current by the battery charging algorithm and the measured PV current. It can be easily seen that the controller can provide each desired current concerning the changing irradiation condition.

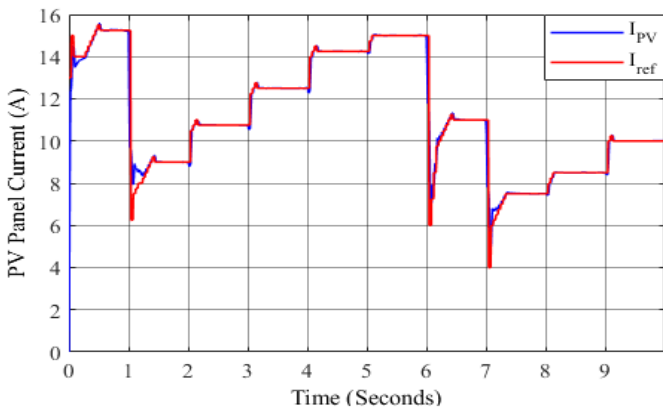


Fig. 7. The produced reference current and PV current

The initial state of charge of the battery is defined as 50% for simulation studies. The battery current and voltage are given in Fig. 8 and Fig. 9, respectively. The battery current is similar to the PV current except for the amplitude of the current as seen from Fig. 7 and Fig. 8.

The battery voltage starts from 24.2V for the 50% initial state of charge. After the applied irradiation profile to the PV, the battery voltage has increased approximately to 24.6V.

Fig. 10 represents the produced power by the PV panels. There are also pieces of knowledge about some available power obtained from the manufacturer for changing irradiation conditions. One can see from Fig. 10 that for all applied irradiation values, the extracted power can satisfy the maximum available power.

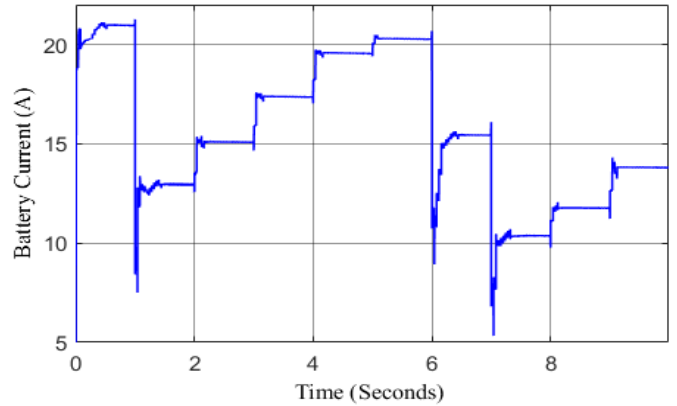


Fig. 8. The battery current for applied irradiation profile

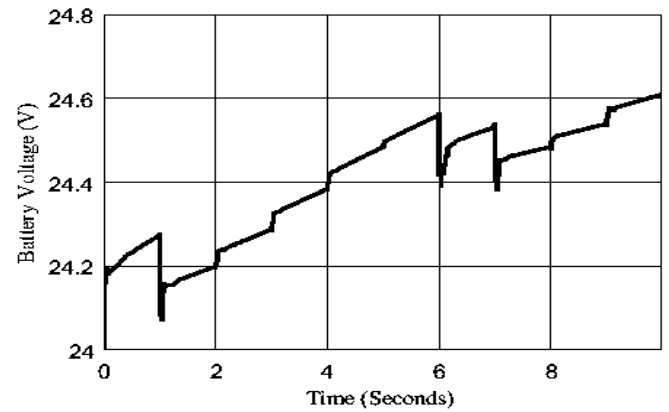


Fig. 9. The battery voltage for applied irradiation profile

Fig. 10 represents the produced power by the PV panels. There are also pieces of knowledge about some available power obtained from the manufacturer for changing irradiation conditions. One can see from Fig. 10 that for all applied irradiation values, the extracted power can satisfy the maximum available power.

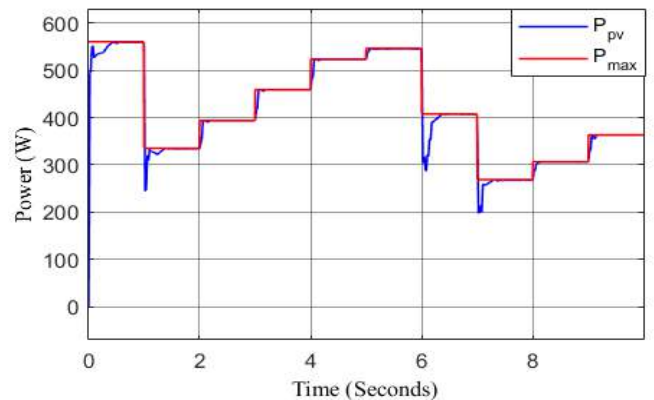


Fig. 10. Produced power by the PV panels

Fig. 11 shows the charge power of the battery. The power values of the battery are lesser than produced power because of the converter efficiency.

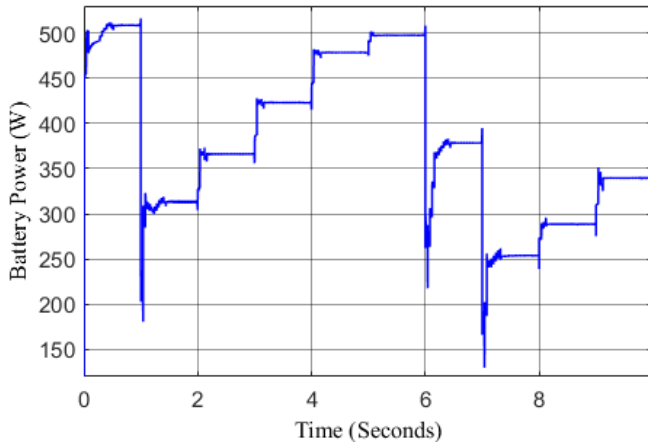


Fig. 11. Battery power for changing irradiation profile

3.2. Discussion

In this study, the PV charger algorithm is studied for the bulk region. The charge algorithm is rather crucial for the battery lifespan and protects the battery. Three-stage charge algorithms preferred in this paper is widely used algorithm. On the other hand, the drawback of the PO method, such as oscillation, wrong decision rule given in the literature, is prevented by the modified algorithm.

4. Conclusions and Recommendations

The efficiency of the PV system is so important because of the installation cost. Improve the efficiency of battery-based PV systems may contribute to the payback time. Moreover, an energy improvement provides lesser usage of fossil fuels and so lesser adversely effects on the environment. The classic PO method is modified, and it is proved that the proposed method can effectively get maximum power transfer to the battery despite the changing irradiation conditions. For the future studies, the experimental setup can be tested for the offered control strategies.

References

- Abu Eldahab, Y. E., Saad, N. H., & Zekry, A. (2014). Enhancing the maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *40*, 505–514.
- Belkaid, A., Colak, I., & Isik, O. (2016). Photovoltaic maximum power point tracking under fast varying of solar radiation. *Applied Energy*, *179*, 523–530.
- Chuang, Y. C. (2010). High-Efficiency ZCS Buck Converter for Rechargeable Batteries. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *57*(7), 2463–2472.
- Delihasanlar, E., Yaylacı, E. K., & Dalcalı, A. (2019). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli, Mevcut Durumu, Teşvikleri, Kurulum Maliyeti Analizi-Karabük İli Örneği. *Electronic Letters on Science & Engineering*, *15*(1), 12–20.
- Hua, A. C. C., & Syue, B. Z. W. (2010). Charge and discharge characteristics of lead-acid battery and LiFePO₄ battery. *International Power Electronics Conference*, *95*, 1478–1483.
- Kazimierczuk, M. K. (2016). *Pulse-Width Modulated DC–DC Power Converters* (Second edi). John Wiley & Sons, Ltd.
- Koutroulis, E., & Kalaitzakis, K. (2004). Novel battery charging regulation system for photovoltaic applications. *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, *151*(2), 191–197.
- Kumar, P., & Kumar, A. (2019). Design of battery charging circuit through intelligent MPPT using SPV system. *Solar Energy*, *178*(July 2018), 79–89.
- López, J., Seleme, S. I., Donoso, P. F., Morais, L. M. F., Cortizo, P. C., & Severo, M. A. (2016). Digital control strategy for a buck converter operating as a battery charger for stand-alone photovoltaic systems. *Solar Energy*, *140*, 171–187.
- Motahhir, S., Ghzizal, A. El, Sebti, S., & Derouich, A. (2018). Modeling of Photovoltaic System with Modified Incremental Conductance Algorithm for Fast Changes of Irradiance. *International Journal of Photoenergy*, *3286479*, 1–13.
- Özbay, H., Karafil, A., & Öncü, S. (2016). Simulation of Battery Charger using a Resonant Converter for PV Systems. *8th International Ege Energy Symposium*, 89–93.
- Özbay, H., Karafil, A., Öncü, S., & Kesler, M. (2015). DSP Controlled High Frequency Battery Charger for Pv Generation Systems. *European Conference on Renewable Energy Systems*, 7–10.
- Padhee, S., Pati, U. C., & Mahapatra, K. (2016). Design of photovoltaic MPPT based charger for lead-acid batteries. *International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies*, 351–356.
- S. Hiwale, A., V.Patil, M., & Vinchurkar, H. (2014). An Efficient MPPT Solar Charge Controller. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, *3*(7), 10505–10511.
- Sinsel, S. R., Riemke, R. L., & Hoffmann, V. H. (2020). Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review. *Renewable Energy*, *145*, 2271–2285.
- Tey, K. S., & Mekhilef, S. (2014). Modified incremental conductance MPPT algorithm to mitigate inaccurate responses under fast-changing solar irradiation level. *Solar Energy*, *101*, 333–342.
- Yazıcı, İ., Yaylacı, E. K., Cevher, B. B., Yalçın, F., Yüzkollar, C. (2021). A new MPPT method based on a modified Fibonacci search algorithm for wind energy conversion systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *13*(013304), 1–11.
- Yazıcı, İ., Yaylacı, E. K., & Yalçın, F. (2021). Modified golden section search based MPPT algorithm for the WECS. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, *24*(5), 1123–1133.
- Yılmaz, U., Kircay, A., & Borekci, S. (2018). PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, 994–1001.



Experimentally Investigation of Some Facilities Provided by Hybrid UPSs

İbrahim Güneş¹, Osman Okay², Emre Akarslan^{3*}

¹ ENEL Energy Electronics Company, 43300, Kutahya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6336-5432), igunes@enel.com.tr

² ENEL Energy Electronics Company, 43300, Kutahya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2416-8724), ookay@enel.com.tr

^{3*} Afyon Kocatepe University, Solar and Wind Energy application and Research Center, Afyonkarahisar, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5918-7266), e.akarslan@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010789)

ATIF/REFERENCE: Güneş, İ., Okay, O. & Akarslan, E. (2021). Experimentally Investigation of Some Facilities Provided by Hybrid UPSs. *European Journal of Science and Technology*, (28), 722-726.

Abstract

Uninterruptible power supplies (UPS), which are used to provide uninterrupted and high-quality energy to the consumer, have also changed in parallel with the developments in the energy sector. In the process, the efficiency of conventional UPSs has increased by developments in power electronics elements, and the dimensions and weights have been reduced with the transformerless UPSs. Recently, UPS systems, which are not indifferent to the developments in renewable energy systems, have achieved a hybrid structure using the energy obtained from these systems. In this study, various advantages of these UPSs are examined experimentally over a sample hybrid UPS via input/output current/voltage waveform. In this context, several features of hybrid UPSs such as feeding the load only through the PV system, supplying the load from the grid and PV system, adapting to on-grid/off-grid operation were examined. The results show that hybrid UPSs are promising in providing uninterrupted, high quality, and efficient energy.

Keywords: UPS technology, Hybrid UPS, Solar Energy, Energy Efficiency

Hibrit UPS'lerin Sağladığı Bazı İmkanların Deneysel Olarak İncelenmesi

Öz

Tüketiciye kesintisiz ve kaliteli enerji sağlamak amacıyla kullanılan Kesintisiz Güç Kaynakları (KGK) da enerji sektöründeki gelişmelere paralel olarak değişimlere uğramıştır. Bu süreçte güç elektroniği elemanlarındaki gelişmelerle konvansiyonel KGK'ların verimliliği artmış, trafosuz KGK'lar ile boyutları ve ağırlıkları azaltılmıştır. Son zamanlarda yenilenebilir enerji sistemlerindeki gelişmelere kayıtsız kalmayan KGK sistemleri, bu sistemlerden elde edilen enerjiyi kullanarak hibrit bir yapıya kavuşmuştur. Bu çalışmada, hibrit KGK'ların çeşitli avantajları, referans bir hibrit KGK üzerinden, giriş/çıkış akımı/gerilim dalga formu aracılığıyla deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda hibrit KGK'ların yükün sadece PV sistem üzerinden beslenmesi, yükün şebekeden ve PV sistemden beraber beslenmesi, şebekeye bağlı/şebekeden bağımsız çalışmaya uyum sağlaması gibi çeşitli özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, hibrit KGK'ların kesintisiz, yüksek kaliteli ve verimli enerji sağlama konusunda umut verici olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: KGK teknolojisi, Hibrit KGK, Güneş Enerjisi, Enerji Verimliliği

1. Introduction

With the developing technology, electrical devices have become an indispensable part of daily life. For this reason, expectations regarding the continuity and quality of the energy supplied have increased considerably in the last decades. A solution for end-users to achieve uninterrupted and high-quality energy may be to use an uninterruptible power supply (UPS). In facilities such as hospitals, data centers, communication systems, etc., where power cuts can cause significant problems, UPS systems are used to supply critical loads with continuous and high-quality energy (Güneş et al., 2009). In general, the output of the UPS system should be sinusoidally regulated with low total harmonic distortion (THD), independent of changes in input voltage and sudden changes in the load connected to the system (Guerrero et al., 2007). It should also have high power density, low transient response time, high reliability, high efficiency, low electromagnetic interference (EMI) and acoustic noise, electrical insulation, low maintenance, low cost and weight, and small size (Zhan et al., 2008). In general, the UPS system can be classified as Rotary UPS system and Static UPS system. Rotary UPS uses motors and generators to process, store and transmit power in case of mains failure, whereas Static UPS system uses power electronic converters and inverters for the same function (Aamir et al., 2016). The static UPS systems can be classified as Offline UPS, Line-interactive UPS, and Online UPS systems based on topological configuration (Niroomand & Karshenas, 2010). The offline UPS (Fig. 1.a) basically consists of a battery charger, a static switch, and an inverter. The advantages of the offline UPS can be expressed in its low cost, simple design, and relatively small size, while its problems with real isolation, voltage regulation, and its relatively low performance in the case of nonlinear load are among its major disadvantages. Line-interactive UPS (Fig. 1.b) has a bidirectional converter/inverter different from the offline UPS, and it has some advantages such as low cost, small size, and high efficiency. However, they are limited to not providing any voltage regulation in normal mode operation (Aamir et al., 2016). In the Online UPS (Fig. 1.c), the load continues to be fed without interruption in a power failure. It provides clean power to the load regardless of the problems in the grid, isolates the load from the mainline, and has a short switching time (Khan et al., 2019), although it has disadvantages such as low efficiency, low power factor, and high total harmonic distortion (Aamir et al., 2016).

A newer UPS technology is transformerless UPS technology, which does not have output stage isolation transformers or input stage phase shift transformers. Transformerless UPS systems have relatively high efficiency, small weight, and volume, but one disadvantage is that they are susceptible to interference from devices connected to the same grid (Aamir & Mekhilef, 2017). In the input stage, instead of thyristors in traditional phase-controlled rectifiers, Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) switches can be used in forced commutation PWM amplifier rectifiers (Kaura & Blasko, 1997). The IGBTs used in the PWM rectifier can boost the intermediate DC bus voltage to a much higher level than the phase-controlled rectifier (approximately 800V) according to the transformer-based UPS case, allowing the inverter to directly generate an AC output voltage compatible with the rated input voltage (Güneş et al., 2009). As the transformer is removed, transformer-induced efficiency reduction, size/weight increase, thermal reliability degradation, etc., is eliminated. Transformerless UPS systems can provide better total harmonic

distortion (THD) and input power factor according to classical transformer UPS systems. In this type of uninterruptible power supply, the battery pack is higher as a higher DC link voltage is needed, and therefore the battery cost increases (Daud et al., 2013). It is also more sensitive to transients and spikes caused by devices connected to the main grid (Koffler, 2003). Recently, hybrid UPSs have become an interesting topic for researchers as they offer the opportunity to benefit from different energy sources. In this paper, some outstanding features of hybrid UPSs are examined. Some features of hybrid UPSs are provided in the following section, then the experimental results obtained by using a hybrid UPS and conclusions are presented.

2. Hybrid UPS Systems

Various reasons such as increasing energy need, decreasing fossil resources, environmental sensitivities, transition to smart grids have made renewable energy sources much more popular. The UPS industry did not remain indifferent to this attractive resource. Recently, hybrid UPSs that can use different energy sources apart from battery and main grid have developed. Hybrid UPS is a special type of uninterruptible power supply that can produce electricity uninterruptedly through solar energy (or such a source), battery, grid, or generator in a controlled manner. Since energy can be obtained from different sources, more efficient use and energy security are ensured.

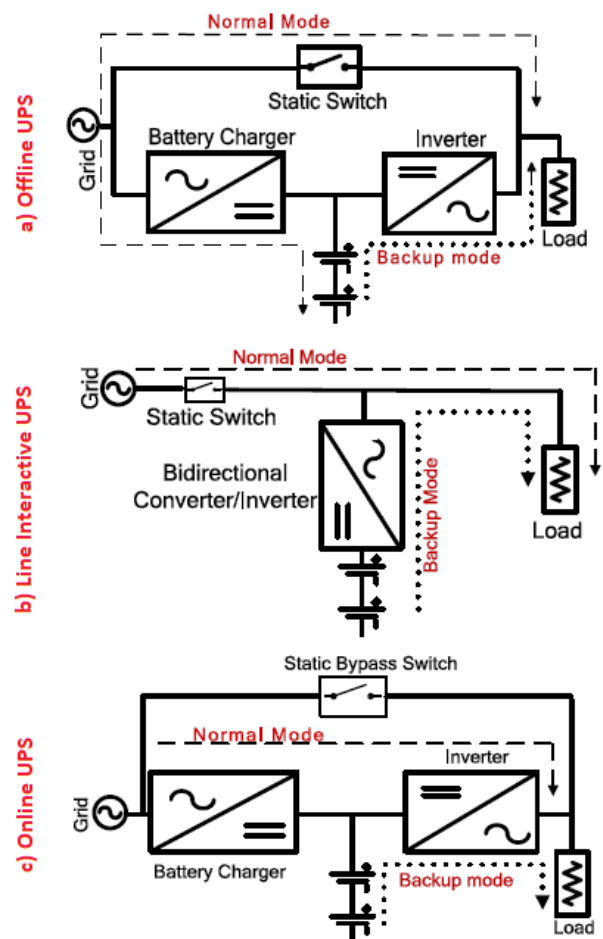


Fig. 1 Block diagram of the Offline (a), Line Interactive (b) and Online UPS systems (Aamir et al., 2016).

In hybrid UPSs, a renewable energy source or a source such as a generator can be used, as well as a storage source such as a fuel cell (Zhang et al., 2013) or supercapacitor (Lahyani et al.,

2013). Since different energy storage devices allow power-sharing and due to these storage devices' dynamic behavior and longevity, an improvement in system performance is expected (Aamir et al., 2016). Integrating renewable energy such as wind and solar energy into UPS systems is another way to build a hybrid UPS. Such systems provide more reliable and quality power to the connected load (Bortolini et al., 2014). In the presented study, solar energy integrated hybrid UPS is considered. While classical UPS consists of components such as rectifier, converter, inverter, and filters, hybrid UPS must have circuits that will integrate the energy from this source into the system since photovoltaic panels will also provide energy as a source. The energy produced by a photovoltaic panel is directly related to the solar radiation value falling on it, and the solar radiation value can vary greatly depending on time and atmospheric conditions. For this reason, circuits that will maximize the energy obtained from the PV and keep the energy in a suitable form for the system are needed under this variability. One of the structures used in this context is the maximum power point trackers (MPPT). Moreover, although different energy sources are used at the input, appropriate control strategies must be developed to obtain a UPS output in certain electrical standards. However, integrating an additional source such as PV into the UPS system increases its reliability (Vieira & Pires, 2016). A sample schema for a hybrid UPS system is presented in Fig. 2. As seen in this schema, the connection of DC sources (PV and Battery) to a DC bus can be a solution for constructing such a system. In connection with PV output and batteries to the DC bus, DC/DC convertors and MPPTs can regulate the charge/discharge of the batteries and the efficiency of the PV system (Vieira & Pires, 2016). Although it is seen that hybrid UPS systems in different topologies have been created in the literature, and each structure has various advantages and disadvantages, it is seen that these structures provide more effective energy use than traditional UPSs.

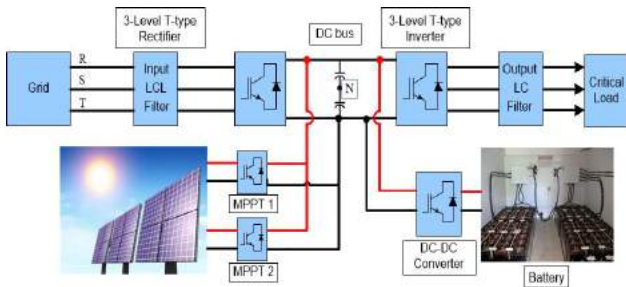


Fig. 2 The principal schema of a hybrid UPS system

3. Results and Discussion

In this study, some advantages of hybrid UPSs are examined with reference to a 10 kVA Enel trademark UPS. Some electrical characteristics of the UPS used are presented in Table 1. This UPS allows the PV system to operate in both on-grid and off-grid modes. As seen from the table, there are two MPPTs in the UPS, and the PV output current is measured from one of the MPPT. It means that the measured PV output current is twice the value seen in the figures presented. In addition, network measurements were carried out on a single-phase, and evaluations were made by taking this situation into account while interpreting the figures. Furthermore, the load demand has been increased or decreased in some experiments to show some properties.

One of the advantages of such a hybrid UPS is that it can work as a solar inverter. All energy produced by the PV system can be fed into the grid, just as in a grid-tied solar system, as seen

in Fig. 3. In this figure, the green line (C4) illustrates the PV panel output current while the brown line (C1), the red line (C2) and the blue line (C3) represent the grid voltage (input voltage of the UPS), output current of the UPS and output voltage of the UPS, respectively. As can be seen, the blue line is in the opposite direction to the brown line and indicates that energy is being transferred to the grid. All energy is transferred to the grid in this mode, and no current is consumed by the load. It is clear from the red line that no current is drawn by the load.

Table 1. Some electrical specifications of the selected UPS

AC Input	Voltage	380/400/415 Vac 3 phase + N
	Frequency	50 / 60 Hz
	Power Factor	≥ 0.99
	THDi	< %5
DC Input	Nominal Input Voltage	650 V
	Max DC Input Voltage	800 V
	Operating Voltage Range	200-800 V
	MPPT Voltage Range	400-650 V
	Number of MPPT	2
AC Output	Voltage	380/400/415 Vac 3 phase + N
	Max Output Power	9 kW
	Power Factor	0.9
	Frequency	50-60 Hz
	THDv	<%2 (linear load), <%5 (nonlinear load)
Battery	Nominal Voltage	240 V
	Charge Voltage	270 V
	Number of Batteries	20
Efficiency	AC/AC Mode	%96
	DC/AC Mode	%97

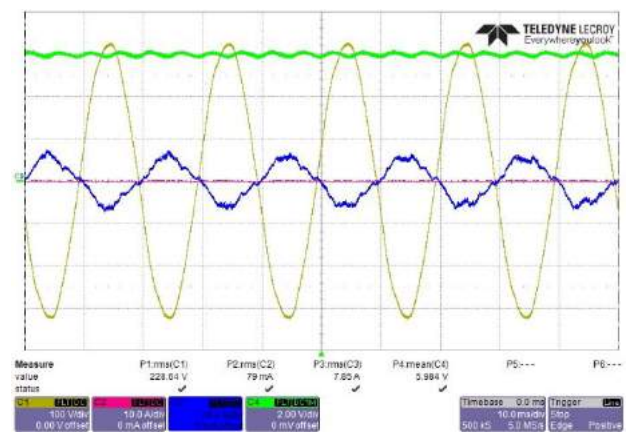


Fig. 3 Transferring all the energy produced from PV to the grid in on-grid mode

In another mode, all produced energy from the PV is transferred to the load. This mode is useful in case of the produced energy from PV is enough for load demand. Fig. 4 illustrates the obtained measurement on this mode. As can be seen from the figure, there is no current flow to the grid side (blue line) while the current is drawn from the load side (red line). However, the

energy produced from PV does not always meet the demand of the load. In this case, when operating in on-grid operation mode, the energy produced from the PV and the energy drawn from the grid (the amount that the PV cannot meet the demand) together meet the demand of the load. It can be seen from Fig.5 that this can be done with a hybrid UPS.

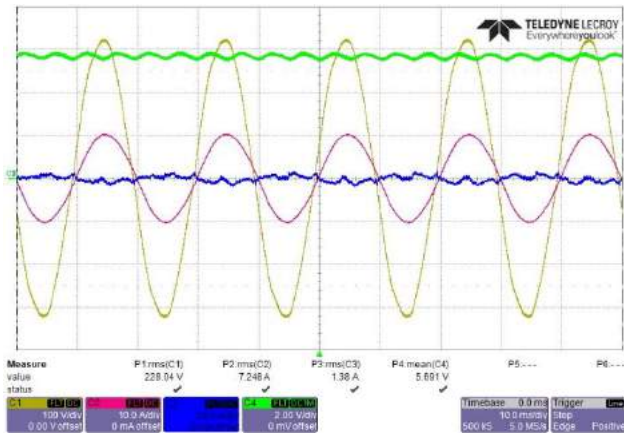


Fig.4. Transferring all the energy produced from PV to the load in on-grid mode

In order to demonstrate this feature, the load demand has been increased to be above the energy supplied from the panel. In Fig. 5, please note that current is drawn from both the grid (blue line) and the PV panel (green line) to meet the load demand (red line). Please note that the PV current is measured from one MPPT, while the consumed current from the grid is measured only from the R phase, and the scale of each measure is different from the other.

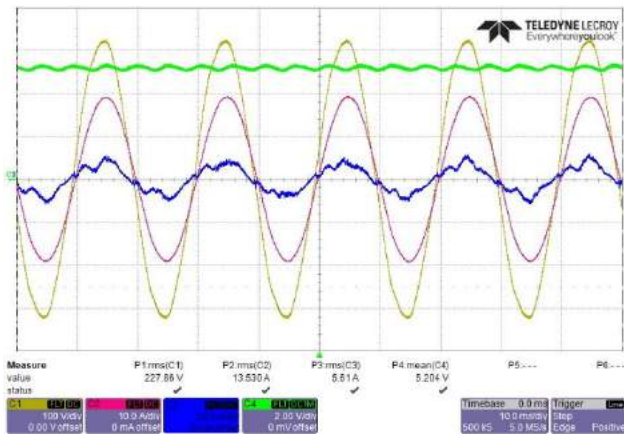


Fig. 5. Meeting the demand of the load from the PV and the grid together

When the UPS operates in on-grid mode, it may need to switch to off-grid mode with a mains failure. This is illustrated in Fig. 6, and in this figure, the blue line represents the UPS output voltage different from the previous figures. Although a temporary fluctuation is observed in the current drawn from the panel (nearly 15 cycles) with the grid interruption, there is almost no fluctuation in the voltage on the load (UPS output). This situation is not very different from the situation where the need is met by the UPS battery when the mains is cut off. However, in the hybrid UPS, the support of the PV panel and the battery provide a more stable signal at the output.

In on-grid mode, energy can be drawn from the grid or fed to the grid. However, a bidirectional meter is needed in case the energy is to be fed into the grid. In this way, offsetting can be done

by measuring the energy fed to and drawn from the grid. If there is no two-way counter and one-way counter, then the energy fed to the grid is also perceived as consumption. For this reason, in the case of a one-way meter, excess energy should never be pumped into the grid. The selected UPS for experiments has an option called as not feeding energy to the grid. Fig.7 and Fig.8 reveal this feature from different perspectives.

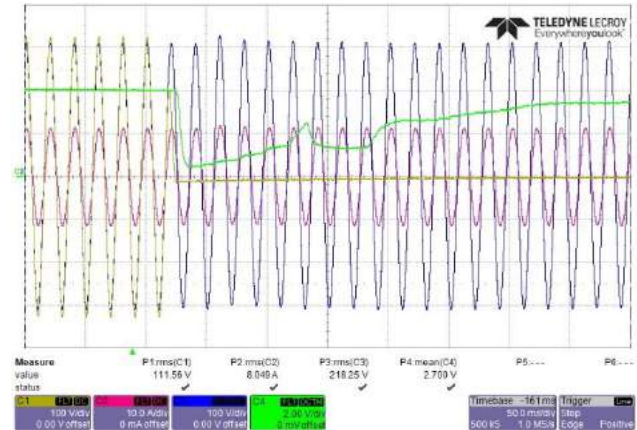


Fig. 6. Switching from on-grid mode to off-grid mode

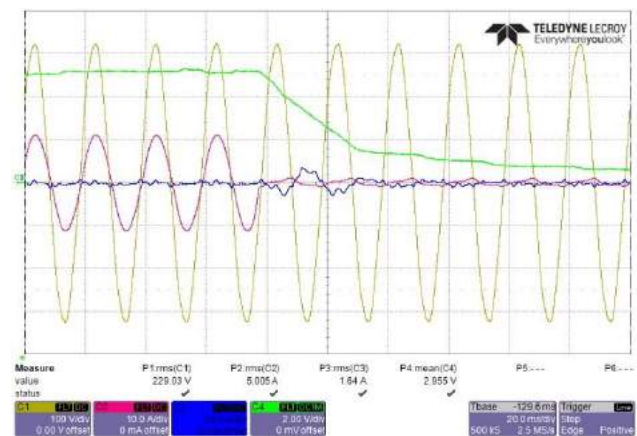


Fig. 7. No power to the grid mode (sudden decrease in load demand)

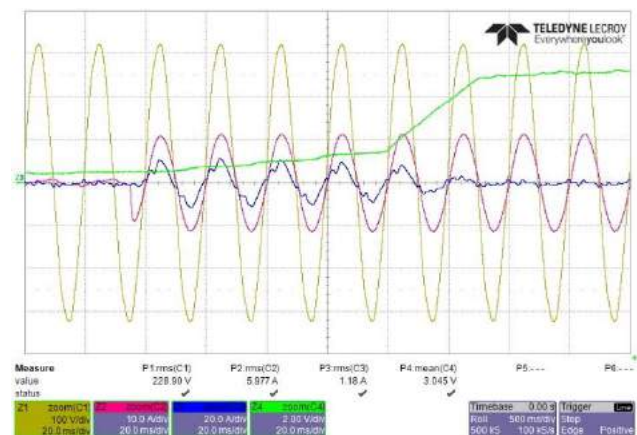


Fig. 8. No power to the grid mode (sudden increase in load demand)

In Fig. 7, while the output load is provided from the PV without drawing current from the grid, if the demand of the load (red line) decreases, the energy drawn from the PV (green line) is reduced, and the back current (blue line) is prevented from being

fed to the grid. In Fig. 8, it is seen that the energy produced by the PV (green line) is limited and thus not fed into the grid since the load demand (red line) is very low at the beginning. However, when the load demand suddenly increases, after the required energy is met from the grid (blue line) for a very short time, the current drawn from the PV (green line) is increased and the load is fed from the PV. Similarly, enough energy must be drawn from the PV panels to meet the load demand when operating in off-grid mode. It is clear from Fig. 9 that this can be achieved with the selected hybrid UPS. In this figure, it can be seen that, if the load demand (red line) decreases, the PV current (green line) decreases linearly. The brown line (mains voltage) constant at zero indicates that it operates in off-grid mode. Experiments conducted in this study show that hybrid UPSs have some crucial advantages over conventional UPSs, and only some of them are discussed here. It is seen that hybrid UPSs provide a more efficient and stable working environment by including the solar system in addition to the uninterrupted and clean energy provided by traditional UPSs.

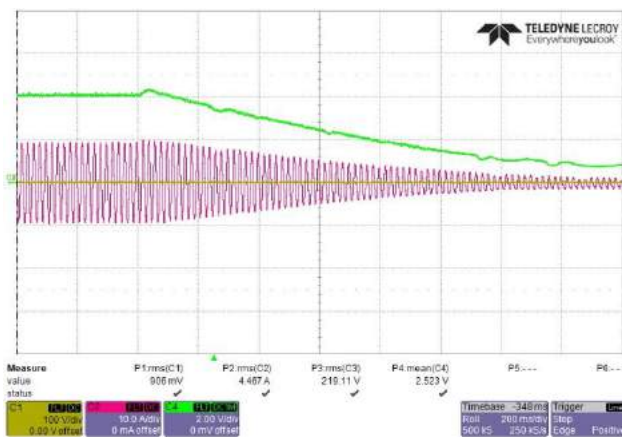


Fig. 9. Reduced load demand in off-grid mode

4. Conclusions and Recommendations

In this study, some advantages of the hybrid UPS systems are experimentally investigated. Some possibilities provided by hybrid UPSs are examined by using a sample hybrid UPS with 10 kVA power. In this context, firstly, UPS was used as a solar inverter, and all the energy produced from the PV system in the no-load condition was transferred to the grid. Secondly, by commissioning the load, again in on-grid mode, the load was fed with the energy produced from PV, then the load demand was increased, and the needed energy was met by drawing from the grid and PV. Then, while the UPS was operating in on-grid mode, the grid was suddenly cut off, and the UPS's rapid transition to off-grid mode was observed. Finally, the ability of the selected UPS to limit the PV current when necessary is examined. In case of a sudden increase or decrease of the load in on-grid mode, the adaptation of the PV current to this situation has been investigated. It has been determined that the PV current can be reduced linearly with the decrease in the load demand in the off-grid mode. As a result of the study, it has been determined that hybrid ups provide significant advantages in providing uninterrupted and high-quality energy and efficiently using energy resources.

References

Aamir, M., Ahmed Kalwar, K., & Mekhilef, S. (2016). Review: Uninterruptible Power Supply (UPS) system. *Renewable e-ISSN: 2148-2683*

- and *Sustainable Energy Reviews*, 58, 1395–1410. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.335>
- Aamir, M., & Mekhilef, S. (2017). An Online Transformerless Uninterruptible Power Supply (UPS) System with a Smaller Battery Bank for Low-Power Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32(1), 233–247. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2016.2537834>
- Bortolini, M., Gamberi, M., & Graziani, A. (2014). Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system. *Energy Conversion and Management*, 86, 81–92. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2014.04.089>
- Daud, M. Z., Mohamed, A., & Hannan, M. A. (2013). An improved control method of battery energy storage system for hourly dispatch of photovoltaic power sources. *Energy Conversion and Management*, 73, 256–270. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2013.04.013>
- Guerrero, J. M., de Vicuña, L. G., & Uceda, J. (2007). Uninterruptible power supply systems provide protection. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 1(1), 28–38. <https://doi.org/10.1109/MIE.2007.357184>
- Güneş, İ., Üstüntepe, B., & Hava, A. M. (2009). Modern transformerless uninterruptible power supply (UPS) systems. *2009 International Conference on Electrical and Electronics Engineering - ELECO 2009*, 1-316-I-320. <https://doi.org/10.1109/ELECO.2009.5355256>
- Kaura, V., & Blasko, V. (1997). Operation of a voltage source converter at increased utility voltage. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 12(1), 132–137. <https://doi.org/10.1109/63.554178>
- Khan, H. S., Aamir, M., Ali, M., Waqar, A., Ali, S. U., & Imtiaz, J. (2019). Finite Control Set Model Predictive Control for Parallel Connected Online UPS System under Unbalanced and Nonlinear Loads. *Energies 2019, Vol. 12, Page 581, 12(4)*, 581. <https://doi.org/10.3390/EN12040581>
- Koffler, R. (2003). Transformer or transformerless ups? *IEE Power Engineer*, 17(3), 34–36. <https://doi.org/10.1049/PE:20030310>
- Lahyani, A., Venet, P., Guermazi, A., & Troudi, A. (2013). Battery/Supercapacitors Combination in Uninterruptible Power Supply (UPS). *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(4), 1509–1522. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2210736>
- Niroomand, M., & Karshenas, H. R. (2010). Review and comparison of control methods for uninterruptible power supplies. *PEDSTC 2010 - 1st Power Electronics and Drive Systems and Technologies Conference*, 18–23. <https://doi.org/10.1109/PEDSTC.2010.5471864>
- Vieira, C., & Pires, V. F. (2016). Hybrid PV-UPS system with multilevel structure of power converters and reliability improvement. *2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2016*, 873–878. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2016.7884461>
- Zhan, Y., Guo, Y., Zhu, J., & Wang, H. (2008). Intelligent uninterruptible power supply system with back-up fuel cell/battery hybrid power source. *Journal of Power Sources*, 179(2), 745–753. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2007.12.113>
- Zhang, W., Xu, D., Li, X., Xie, R., Li, H., Dong, D., Sun, C., & Chen, M. (2013). Seamless transfer control strategy for fuel cell uninterruptible power supply system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(2), 717–729. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2204777>



Gradyan Tabanlı Optimize Edici Algoritmasının Parametre Ayarlaması

Mehmet Beşkirli^{1*}, Mehmet Fatih Tefek²

^{1*} Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Şırnak, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4842-3817), mehmetbes@sirnak.edu.tr

² Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3390-4201), mehmetfatihfefek@osmaniye.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010813)

ATIF/REFERENCE: Beşkirli, M. & Tefek M.F. (2021). Gradyan Tabanlı Optimize Edici Algoritmasının Parametre Ayarlaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 727-742.

Öz

Bu çalışmada, popülasyon tabanlı yeni bir meta-sezgisel optimizasyon algoritması olan gradyan tabanlı optimize edici (GBO) algoritmasının olasılık parametresi ayarı yapılmıştır. Gradyan tabanlı Newton yönteminden ilham alan GBO, gradyan arama kuralı (GAK) ve yerel kaçış operatörü (YKO) olmak üzere iki ana operatör kullanır. Gradyan arama kuralında, uygulanabilir alanda daha iyi arama yapmak ve daha iyi konumlar elde etmek için vektörlerin hareketi kontrol edilir. Arama eğilimini arttırmak ve GBO'nun yakınsamasını hızlandırmak amacıyla, GAK, gradyan tabanlı (GT) yöntemi konseptine dayalı olarak önerilmiştir. GAK, arama uzayında daha iyi konumlar elde etmek için keşif eğilimini geliştirmek ve yakınsama oranını hızlandırmak için gradyan tabanlı yöntemi kullanır. YKO operatörü, çözümün konumunu önemli ölçüde değiştirebilmektedir. YKO operatöründe rastgele değerlerle kıyaslanmak üzere olasılık parametresi ($pr \in (0,1)$) kullanılmaktadır. Olasılık parametresi GBO'nun çalışma performansına etkisini anlayabilmek için on iki adet tek modlu ve on iki adet çok modlu test fonksiyonları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda olasılık parametre değerleri sırasıyla 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 ve 0,9 olarak alınmıştır. GBO algoritmasında olasılık parametresinin önemli bir faktör olduğu ve GBO'nun çalışma performansını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Ek olarak olasılık parametresinin 0,9 değerine yaklaştığında GBO'nun tek modlu ve çok modlu test fonksiyon sonuçlarında daha iyi değerler hesapladığı grafik ve tablolarla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Gradyan tabanlı optimize edici, Test fonksiyonları, Algoritma parametre ayarı

Parameter Adjustment of Gradient Based Optimizer Algorithm

Abstract

In this study, the probability parameter of the gradient-based optimizer (GBO) algorithm, which is a new population-based meta-heuristic optimization algorithm, is adjusted. Inspired by the gradient-based Newtonian method, GBO uses two main operators, the gradient search rule (GSR) and the local escape operator (LEO). In the gradient search rule, the movement of vectors is controlled in order to better search and obtain better positions in the applicable area. In order to increase search propensity and accelerate the convergence of GBO, GSR is proposed based on the concept of the guard-based (GT) method. GSR uses the gradient-based method to improve the exploration propensity and speed up the convergence rate to get better positions in the search space. The LEO operator can significantly change the position of the solution. In the LEO operator, the probability parameter ($pr \in (0,1)$) is used to compare with random values. In order to understand the effect of probability parameter GBO on operating performance, twelve single-mode and twelve multi-mode benchmark functions are used. In experimental studies, probability parameter values were taken as 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 and 0.9, respectively. It has been determined that the probability parameter is an important factor in the GBO algorithm and it significantly affects the working performance of the GBO. In addition, graphs and tables show that GBO calculates better values in unimodal and multimodal benchmark function results when the probability parameter approaches 0.9.

Keywords: Optimization, Gradient based optimizer, Benchmark functions, Algorithm parameter setting

* Sorumlu Yazar: mehmetbes@sirnak.edu.tr

1. Giriş

Optimizasyon amaç fonksiyonunun belirli kısıtlar altında en iyi değerini elde etme işlemidir. Metasezgisel algoritmalar optimizasyon problemlerinin tümü için kesin sonuç elde edebileceklerini garanti etmezler. Ancak en iyi sonucu elde etmek için uğraşırlar. Metasezgisel algoritmalar klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedirler (Makhloufi, 2015). Bundan dolayı optimizasyon algoritmaları inşaat mühendisliği, makine mühendisliği gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Aala Kalananda & Komanapalli, 2021; Beşkirli & Dağ, 2020; Dhiman & Kaur, 2019; Houssein, Saad, Hashim, Shaban, & Hassaballah, 2020; Huerta et al., 2022; Kutlu Onay & Aydemir, 2022; Salgotra, Singh, Singh, Mittal, & Gandomi, 2021; Shabani, Asgarian, Salido, & Asil Gharebaghi, 2020; Sulaiman, Mustaffa, Saari, & Daniyal, 2020; Umam, Mustafid, & Suryono, 2021). Optimizasyon algoritmaları doğadan ilham almaktadır. Bu sebepten optimizasyon algoritmaları biyolojik temelli, popülasyon temelli, fizik temelli, sürü temelli, sosyal temelli, gradyan tabanlı, müzik temelli ve kimya temelli tekniklerden oluşmaktadır (Beşkirli, Temurtaş, & Özdemir, 2020). Oluşturulan algoritmalar gerçek hayatta karşılaşılan mühendislik problemlerini çözme amaçlanmıştır (Beskirli, Beskirli, Hakli, & Uguz, 2018). Bu çalışmada ise gradya ve popülasyon tabanlı birleşiminden oluşturulan Gradyan tabanlı optimize edici (GBO) algoritması kullanılmıştır. Her ne kadar optimizasyon

algoritmaları iyi sonucu elde etmek için uğraşsada algoritma üzerinde yapılacak olan iyileştirmeler ile algoritma daha iyi sonuçlar elde edebilmektedir. GBO algoritmanın en iyi parametre düzeyi bu çalışma ile araştırılmıştır. Algoritmanın parametre düzenlemesi ile elde edilecek sonucun başarısını etkilemektedir. Bu sebep ile literatürde yer alan birçok problem için uygun olacağını düşündüğümüz parametre değerleri tek modlu ve çok modlu test fonksiyonlarına uygulanması ile en iyi parametre değerleri tavsiye edilecektir. Bu konu ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde algoritmaların parametrelerinin en iyi değerinde olduğu zaman algoritmanın performansının en üst düzeyde olduğu belirtilmiştir (Akay & Karaboga, 2012; Alavidoost, Zarandi, Tarimoradi, & Nemati, 2017; Beşkirli, Özdemir, & Temurtaş, 2020; Kıran & Fındık, 2015).

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma için tek modlu ve çok modlu test fonksiyonları kullanılmıştır. Bunlar ile ilgili açıklamalar bu bölümde verilmiştir. Bunların yanı sıra kullanılan algoritma da bu bölümde verilmiştir.

2.1. Test Fonksiyonları

Tablo 1. Tek modlu fonksiyonlar

Fn.	Adı	Arama Uzayı	Boyut	Fonksiyon	F_{min}
F1	Sphere	[-100, 100]	25	$F1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	0
F2	Quartic Noise	[-1.28, 1.28]	25	$F2(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^4 + random[0,1]$	0
F3	Powell Sum	[-1, 1]	25	$F3(x) = \sum_{i=1}^n |x_i|^{i+1}$	0
F4	Schwefel's 2.20	[-100, 100]	25	$F4(x) = \sum_{i=1}^n |x_i|$	0
F5	Schwefel's 2.21	[-100, 100]	25	$F5(x) = \max(|x_i|, 1 \leq i \leq n)$	0
F6	Step	[-100, 100]	25	$F6(x) = \sum_{i=1}^n ([x_i + 0.5])^2$	0
F7	Stepint	[-5.12, 5.12]	25	$F7(x) = 25 + \sum_{i=1}^n (|x_i|)$	-155
F8	Schwefel's 1.20	[-100, 100]	25	$F8(x) = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^i x_j)^2$	0
F9	Schwefel's 2.22	[-100, 100]	25	$F9(x) = \sum_{i=1}^n |x_i| + \prod_{i=1}^n |x_i|$	0
F10	Schwefel's 2.23	[-10, 10]	25	$F10(x) = \sum_{i=1}^n x_i^{10}$	0
F11	Rosenbrock	[-30, 30]	25	$F11(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$	0
F12	Brown	[-1, 4]	25	$F12(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (x_i^2)^{(x_{i+1}^2+1)} + (x_{i+1}^2)^{x_i^2+1}$	0

Tablo 2. Çok modlu fonksiyonlar

Fn.	Adı	Arama Uzayı	Boyut	Fonksiyon	F_{min}
F1	Schwefel's 2.26	[-500, 500]	25	$F1(x) = 418.9829n - \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{|x_i|})$	0
F2	Rastrigin	[-5.12, 5.12]	25	$F2(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$	0
F3	Periodic	[-10, 10]	25	$F3(x) = 1 + \sum_{i=1}^n \sin^2(x_i) - 0.1e^{(\sum_{i=1}^n x_i^2)}$	0.9
F4	Qing	[-500, 500]	25	$F4(x) = \sum_{i=1}^n (x^2 - i)^2$	0
F5	Alpine N. 1	[-10, 10]	25	$F5(x) = \sum_{i=1}^n |x_i \sin(x_i) + 0.1x_i|$	0
F6	Xin-She Yang	[-5, 5]	25	$F6(x) = \sum_{i=1}^n \epsilon_i |x_i|^i$	0

F7	Ackley	[-32, 32]	25	$F7(x) = -20 \exp\left(-0.2 \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp(1/n \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)) + 20 + e$	0
F8	Trigonometric 2	[-500, 500]	25	$F8(x) = \sum_{i=1}^n 8 \sin^2[7(x_i - 0.9)^2] + 6 \sin^2[14(x_i - 0.9)^2] + (x_i - 0.9)^2$	1
F9	Salomon	[-100, 100]	25	$F9(x) = 1 - \cos\left(2\pi \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}\right) + 0.1 \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}$	0
F10	Styblinski-Tang	[-5, 5]	25	$F10(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i^4 - 16x_i^2 + 5x_i)$	-1174.98
F11	Griewank	[-100, 100]	25	$F11(x) = 1/4000 \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos(x_i/\sqrt{i}) + 1$	0
F12	Xin-She Yang N.4	[-10, 10]	25	$F12(x) = (\sum_{i=1}^n \sin^2(x_i) - e^{-\sum_{i=1}^n x_i^2}) e^{-\sum_{i=1}^n \sin^2 \sqrt{|x_i|}}$	-1

2.1.1. GBO Algoritması

GBO algoritması 2020 yılında Ahmadianfar vd. tarafından sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için önerilmiştir (Ahmadianfar, Bozorg-Haddad, & Chu, 2020). Grandyan ve popülasyon tabanlı yöntemleri birleşiminden oluşan GBO algoritması arama uzayını keşfetmek için Newton yöntemini kullanmışlardır. GBO üç ana bileşenden oluşmaktadır. İlk olarak başlangıç aşamasıdır. İkincisi grandyan arama kuralıdır. Sonuncusu ise yerel kaçış operatörüdür. Başlangıç aşamasında, kontrol parametresi, yineleme sayısı, popülasyon sayısı yer almaktadır. Bu algoritmada popülasyon sayısına vektör sayısı denilmektedir. D-boyutlu bir arama uzayında N tane vektör yer almaktadır. Bu vektör ise Denklem 1’deki gibi ifade edilmiştir.

$$X_{n,d} = [X_{n,1}, X_{n,2}, \dots, X_{n,d}], n = 1, 2, \dots, N$$

$$d = 1, 2, \dots, D \quad (1)$$

Grandyan arama kuralı ise uygulanabilir alanda daha iyi arama yapmak ve daha iyi konumlar elde etmek için vektörlerin hareketi kontrol edildiği bölümdür. Arama eğilimini arttırmak ve

yakınsama hızını arttırmak için kullanılmaktadır. Grandyan arama kuralının hesaplaması Denklem 2’deki gibi olmaktadır.

$$GSR = randn \times \frac{2\Delta x \times x_n}{(x_{\text{worst}} - x_{\text{best}} + \epsilon)} \quad (2)$$

Yerel kaçış operatörü, karmaşık problemlere karşı GBO algoritmasının verimliliğini arttırmak için kullanılmıştır.

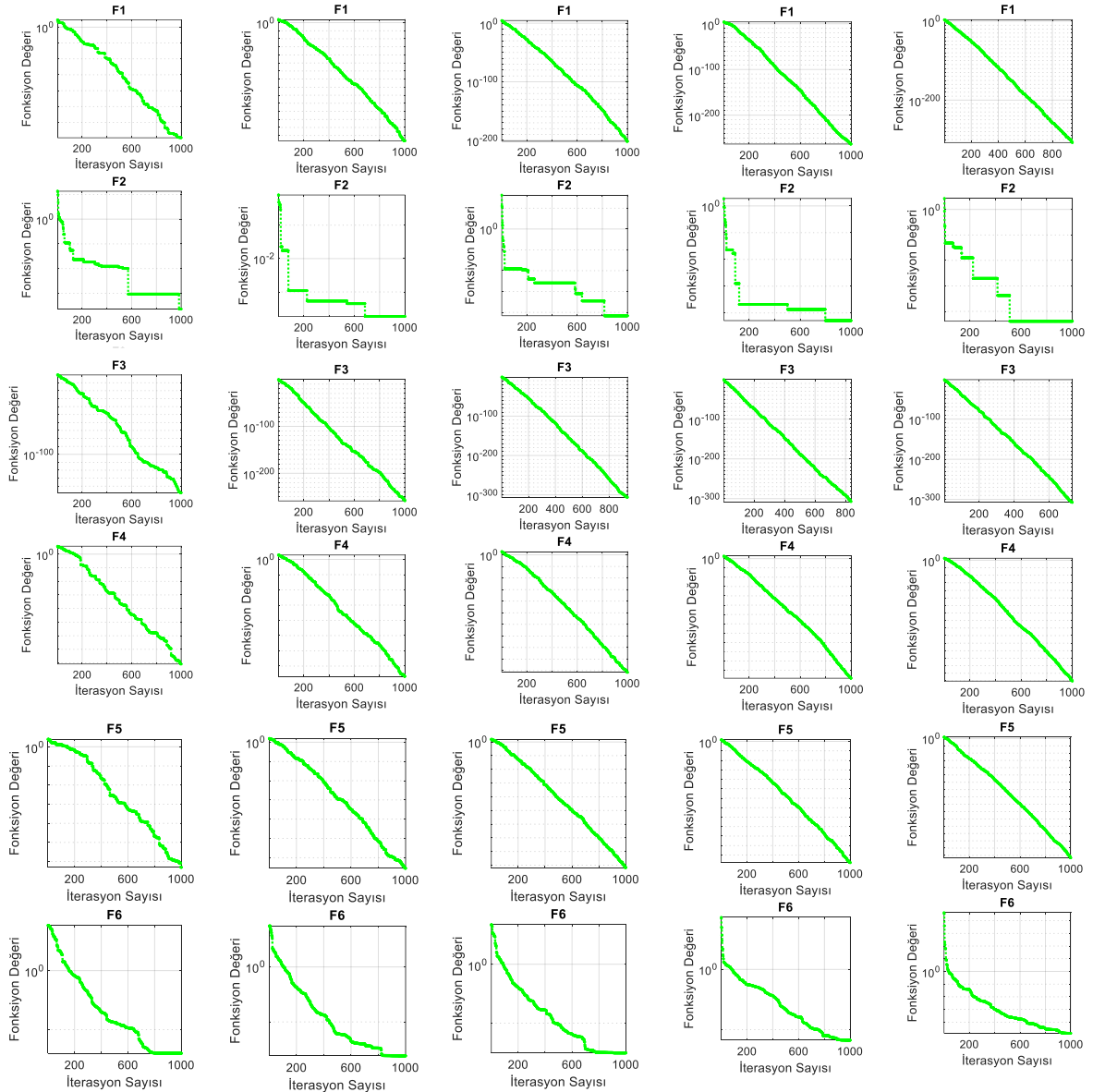
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

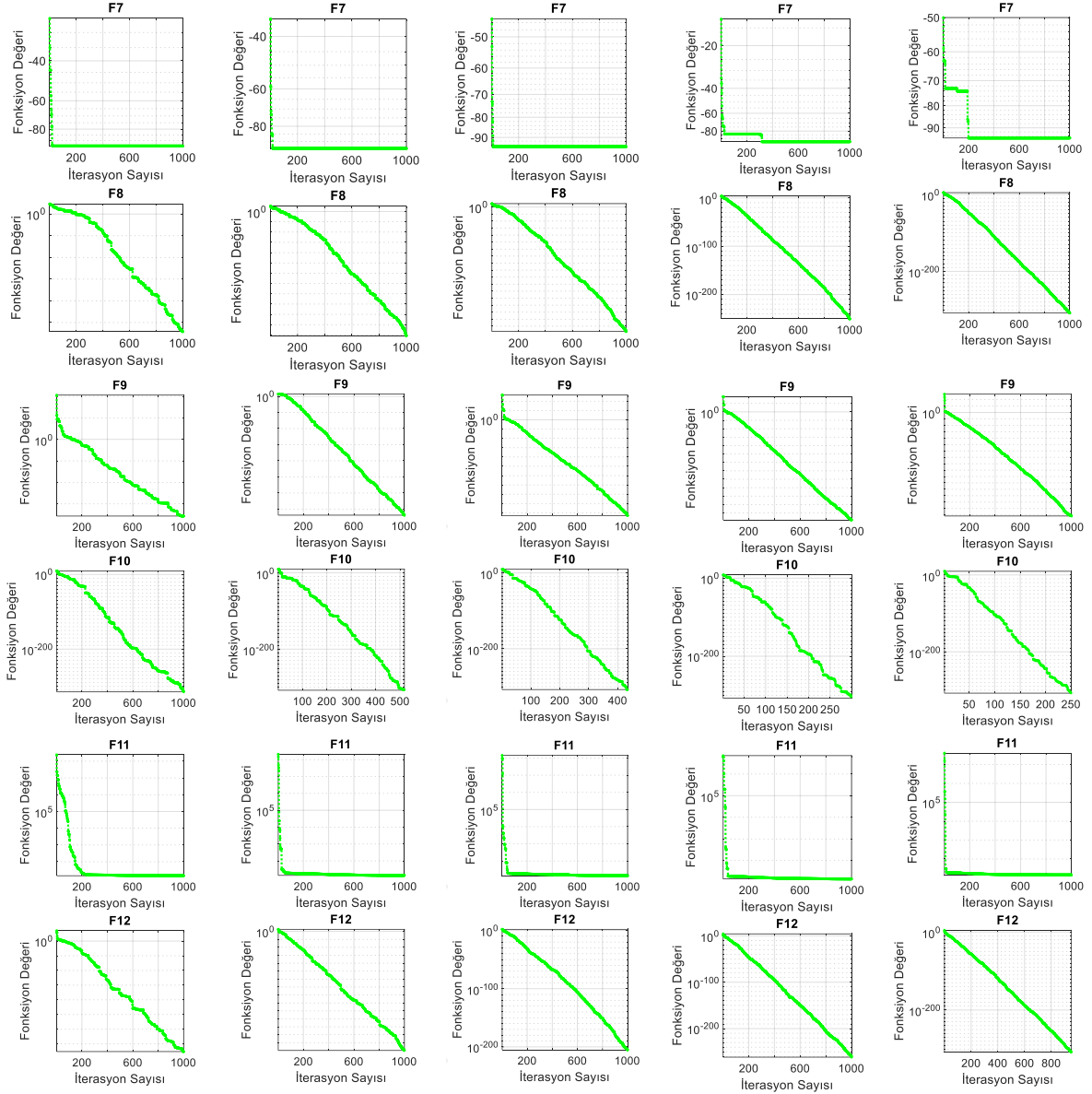
GBO algoritmasına ait değerlerden elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Aynı zamanda bunlara ait yakınsama grafikleri de şekiller bölümünde yer almaktadır. Fonksiyonlar ise tek modlu ve çok modlu fonksiyonlar olmak üzere ayrı ayrı tablolarda verilmiştir. Algoritmanın yineleme sayısı 1.000, boyut sayısı ise 25 olarak alınmıştır. Ayrıca algoritmanın parametre optimizasyonunun vektör sayıları üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Bu sebep ile vektör sayıları sırası ile 10, 25 ve 50 alınmıştır.

Tablo 3. Tek modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:10)

		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
F1	En iyi	1.98E-70	2.15E-147	3.43E-202	6.85E-264	0.00E+00
	Ortalama	2.40E-48	2.60E-117	8.14E-170	3.76E-227	4.16E-287
	Std.	1.28E-47	1.40E-116	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F2	En iyi	2.34E-04	1.85E-04	6.88E-05	5.20E-05	4.12E-05
	Ortalama	2.83E-03	1.60E-03	1.13E-03	8.53E-04	8.44E-04
	Std.	2.25E-03	1.60E-03	9.91E-04	8.24E-04	7.60E-04
F3	En iyi	5.05E-149	1.30E-259	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	1.69E-91	2.81E-204	1.31E-290	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	8.67E-91	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	En iyi	4.08E-41	1.65E-77	3.91E-102	3.48E-129	4.67E-161
	Ortalama	1.54E-22	2.41E-62	1.21E-88	8.43E-113	1.69E-144
	Std.	8.04E-22	1.30E-61	5.49E-88	4.54E-112	6.89E-144
F5	En iyi	3.19E-32	3.16E-66	1.87E-92	9.66E-129	5.38E-164
	Ortalama	1.76E-21	3.81E-52	2.75E-81	2.11E-113	1.18E-143
	Std.	5.61E-21	2.05E-51	1.39E-80	6.52E-113	4.22E-143
F6	En iyi	9.80E-08	8.24E-09	3.11E-08	1.33E-06	1.33E-05
	Ortalama	9.69E-06	7.81E-06	2.58E-06	1.29E-05	2.50E-04
	Std.	2.00E-05	2.73E-05	4.17E-06	1.61E-05	2.46E-04

F7	En iyi	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01
	Ortalama	-9.50E+01	-9.46E+01	-9.43E+01	-9.39E+01	-9.28E+01
	Std.	0.00E+00	1.97E+00	2.74E+00	3.20E+00	5.18E+00
F8	En iyi	6.37E-55	2.00E-121	2.89E-178	6.90E-251	0.00E+00
	Ortalama	5.43E-33	4.93E-93	1.55E-153	2.43E-208	2.03E-283
	Std.	2.87E-32	2.66E-92	6.26E-153	0.00E+00	0.00E+00
F9	En iyi	2.22E-36	1.83E-74	1.34E-103	4.04E-129	2.31E-162
	Ortalama	9.78E-22	1.10E-62	2.72E-87	6.30E-117	1.37E-145
	Std.	4.15E-21	4.32E-62	1.46E-86	3.19E-116	6.42E-145
F10	En iyi	2.37E-315	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	5.29E-193	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F11	En iyi	1.46E+01	1.38E+01	1.39E+01	1.41E+01	1.43E+01
	Ortalama	1.59E+01	1.57E+01	1.59E+01	1.61E+01	1.62E+01
	Std.	1.17E+00	1.23E+00	1.34E+00	1.11E+00	1.10E+00
F12	En iyi	6.37E-76	1.67E-150	1.18E-205	2.78E-262	0.00E+00
	Ortalama	1.23E-45	2.93E-123	2.19E-172	6.01E-230	2.99E-293
	Std.	6.62E-45	1.58E-122	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00



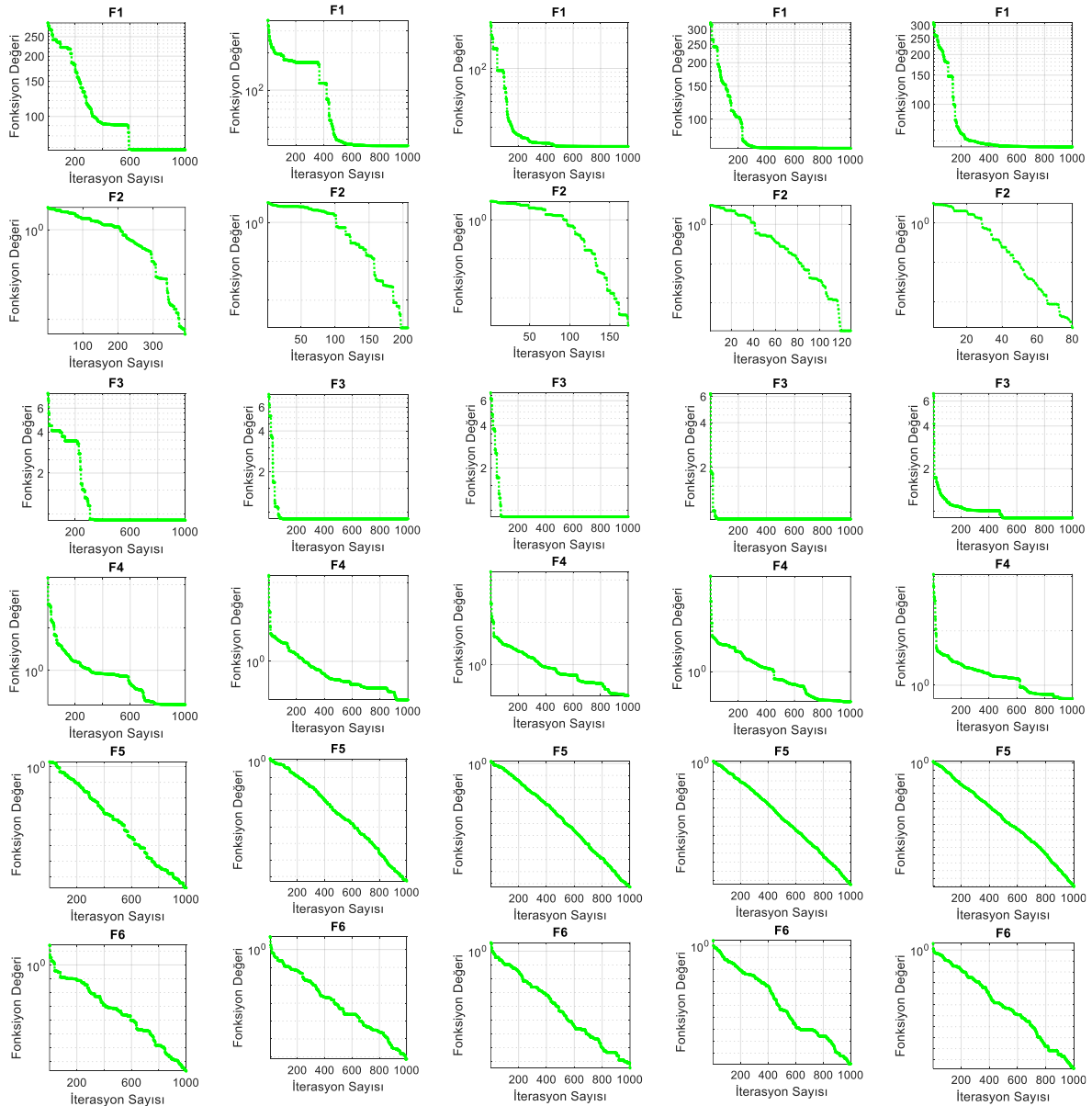


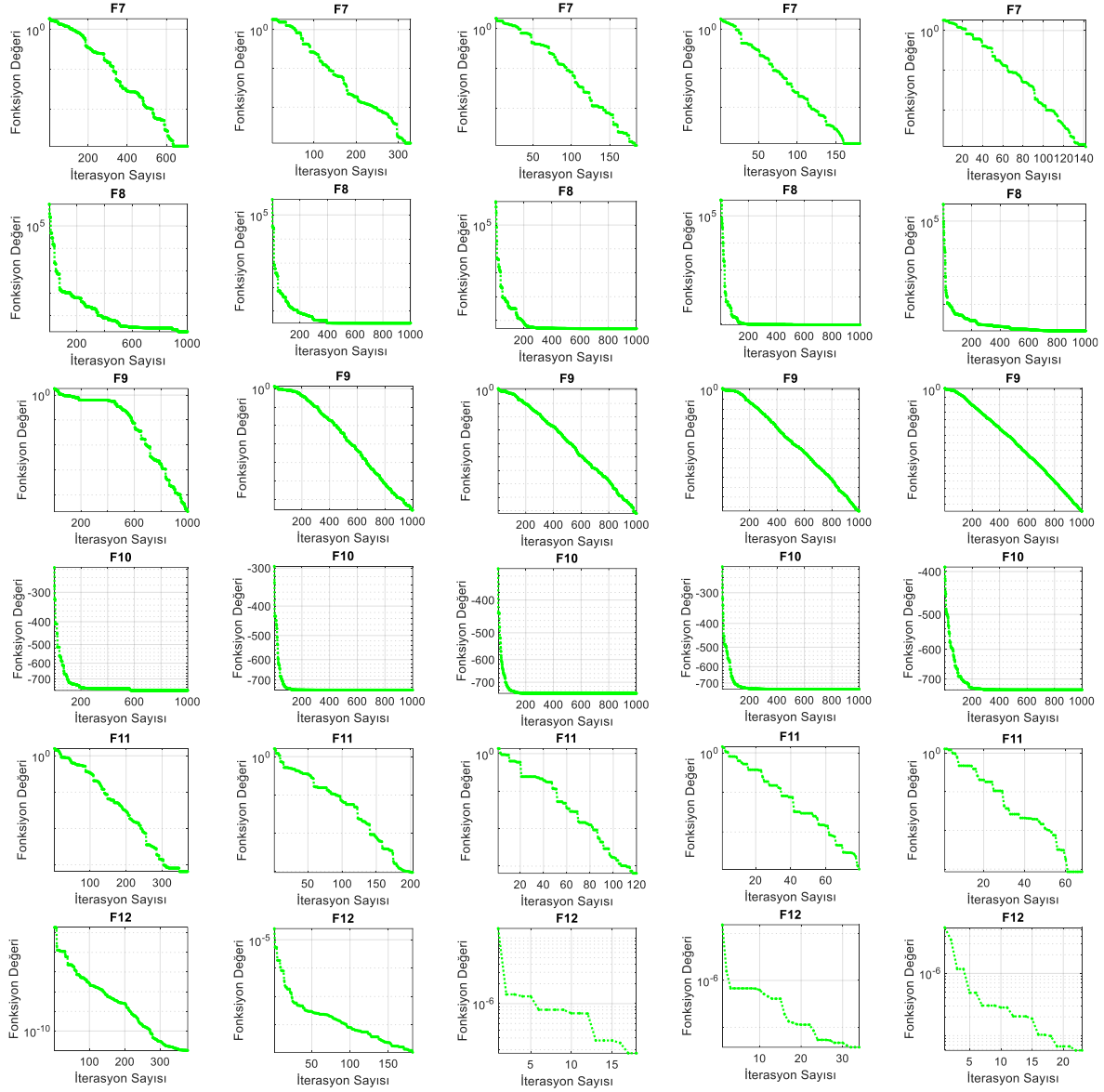
Şekil 1. Tek modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:10)

Tablo 4. Çok modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:10)

		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
F1	En iyi	6.82E+01	3.55E+01	1.18E+01	7.02E+01	5.53E+01
	Ortalama	1.25E+02	1.20E+02	1.30E+02	1.42E+02	1.47E+02
	Std.	2.50E+01	3.84E+01	3.76E+01	3.13E+01	3.93E+01
F2	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	3.32E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	1.79E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	En iyi	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01
	Ortalama	9.84E-01	9.20E-01	9.03E-01	9.00E-01	9.00E-01
	Std.	6.93E-02	4.01E-02	1.81E-02	4.44E-16	4.44E-16
F4	En iyi	9.67E-05	1.33E-05	2.11E-04	1.22E-03	5.87E-02
	Ortalama	1.60E-02	7.23E-02	2.98E-02	9.57E-02	4.98E+00
	Std.	3.15E-02	3.52E-01	7.80E-02	2.34E-01	9.83E+00
F5	En iyi	3.86E-39	1.44E-73	1.56E-103	1.89E-135	1.92E-161
	Ortalama	9.19E-05	1.30E-05	4.01E-91	1.31E-116	9.37E-148
	Std.	1.90E-04	7.01E-05	2.15E-90	7.07E-116	4.99E-147
F6	En iyi	3.88E-39	5.79E-62	1.79E-85	1.12E-99	1.06E-108

	Ortalama	4.09E-13	1.09E-28	1.55E-22	8.49E-24	1.16E-28
	Std.	1.53E-12	5.88E-28	8.37E-22	4.57E-23	4.57E-28
F7	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F8	En iyi	1.94E+00	3.24E+00	4.59E+00	9.52E+00	1.10E+01
	Ortalama	1.11E+01	1.24E+01	1.70E+01	2.17E+01	2.31E+01
	Std.	5.44E+00	5.88E+00	7.92E+00	9.06E+00	8.13E+00
F9	En iyi	5.02E-24	2.10E-66	7.84E-93	5.28E-125	3.30E-160
	Ortalama	3.33E-02	3.33E-03	1.45E-62	2.10E-83	1.09E-127
	Std.	4.70E-02	1.79E-02	7.81E-62	8.74E-83	5.86E-127
F10	En iyi	-7.83E+02	-7.55E+02	-7.55E+02	-7.41E+02	-7.41E+02
	Ortalama	-7.05E+02	-6.97E+02	-6.95E+02	-6.83E+02	-6.81E+02
	Std.	3.51E+01	3.37E+01	2.72E+01	2.62E+01	2.36E+01
F11	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F12	En iyi	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
	Ortalama	-9.19E-01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
	Std.	2.56E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00



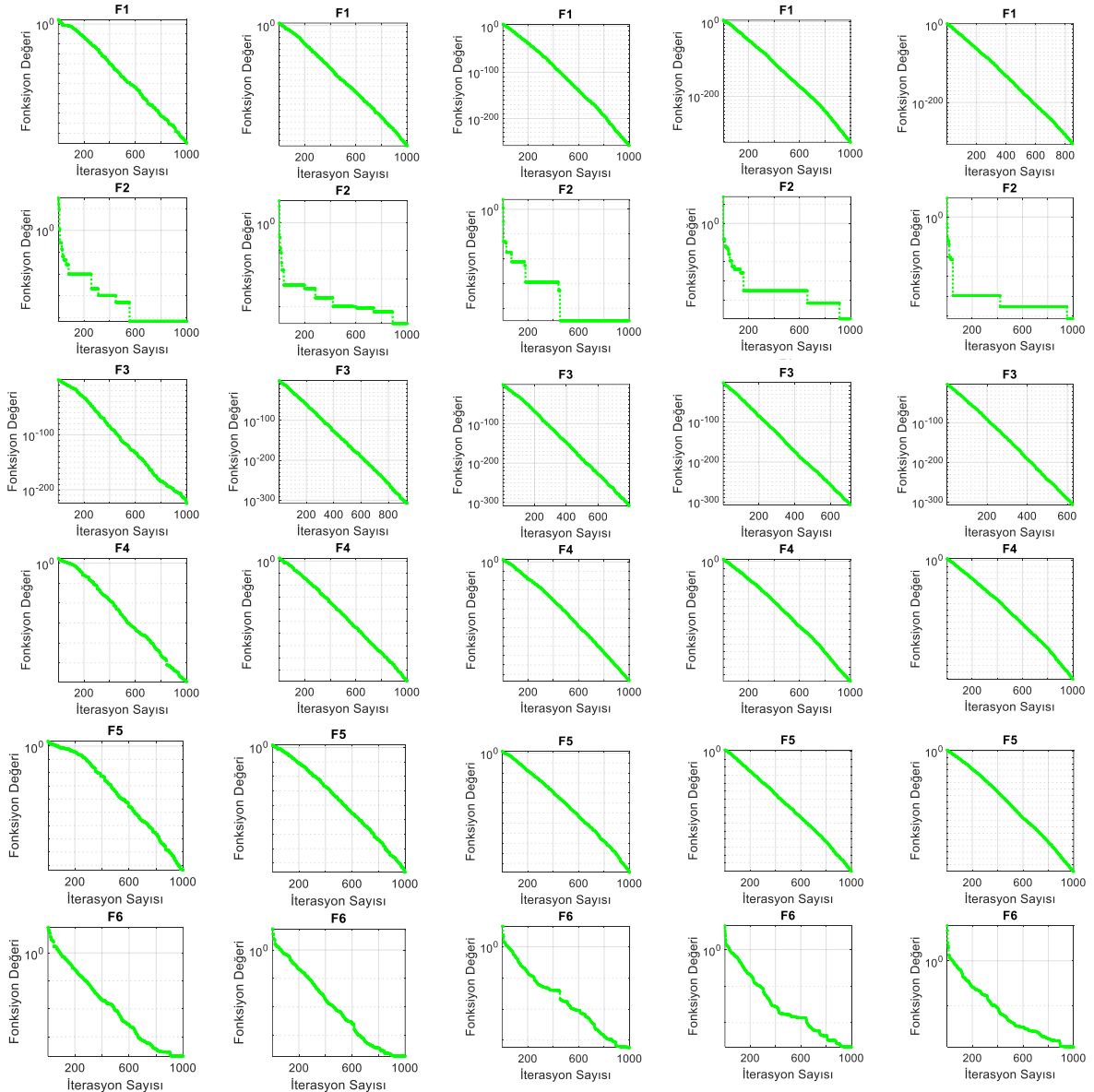


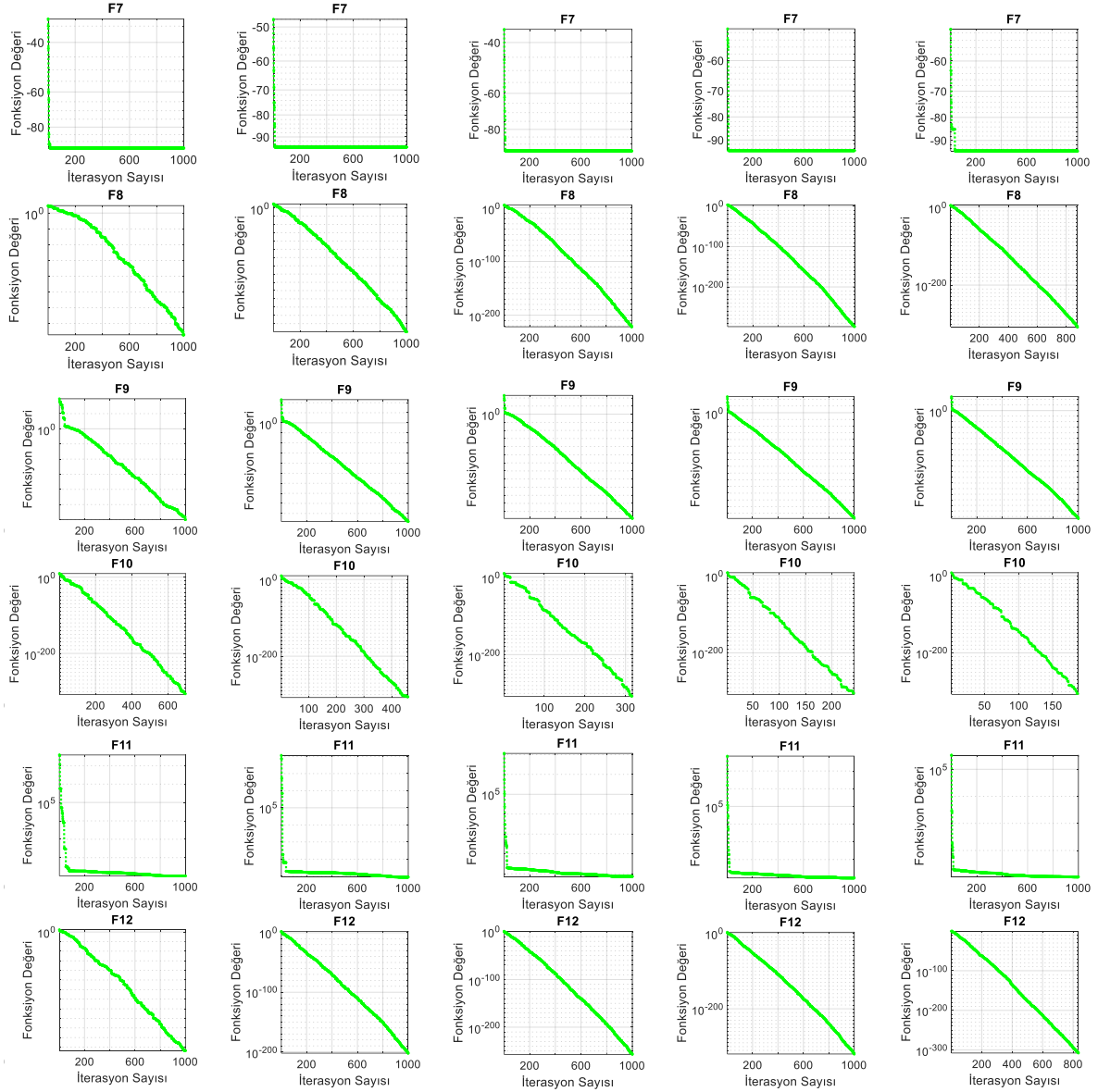
Şekil 2. Çok modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:10)

Tablo 5. Tek modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:25)

		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
F1	En iyi	1.50E-120	1.77E-199	7.39E-259	2.00E-323	0.00E+00
	Ortalama	1.16E-92	1.13E-176	1.76E-239	1.97E-297	0.00E+00
	Std.	6.22E-92	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F2	En iyi	6.68E-05	2.50E-04	3.11E-05	1.07E-05	7.50E-06
	Ortalama	1.23E-03	7.10E-04	4.16E-04	5.10E-04	3.21E-04
	Std.	8.58E-04	4.45E-04	3.37E-04	5.00E-04	3.26E-04
F3	En iyi	2.16E-225	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	4.93E-189	2.85E-314	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	En iyi	3.72E-60	8.82E-100	7.88E-128	7.65E-160	3.66E-193
	Ortalama	2.95E-53	2.76E-92	6.91E-119	1.52E-150	1.75E-181
	Std.	9.71E-53	1.11E-91	3.67E-118	5.89E-150	0.00E+00
F5	En iyi	1.78E-47	4.82E-87	1.08E-119	2.76E-151	3.43E-191
	Ortalama	2.86E-39	3.82E-77	3.09E-112	1.16E-140	4.23E-181
	Std.	1.30E-38	1.95E-76	6.40E-112	4.84E-140	0.00E+00
F6	En iyi	3.62E-19	2.29E-19	6.67E-17	4.89E-14	2.41E-10
	Ortalama	5.20E-16	2.13E-16	1.43E-13	3.50E-11	4.59E-08

	Std.	1.77E-15	4.73E-16	5.18E-13	1.02E-10	1.71E-07
F7	En iyi	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01
	Ortalama	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.46E+01	-9.50E+01
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.97E+00	0.00E+00
F8	En iyi	7.22E-78	1.49E-150	2.77E-222	2.86E-299	0.00E+00
	Ortalama	5.86E-62	2.29E-132	2.42E-195	3.44E-277	0.00E+00
	Std.	2.20E-61	9.46E-132	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F9	En iyi	9.93E-61	1.18E-98	2.85E-129	2.08E-158	3.14E-194
	Ortalama	3.14E-47	7.93E-91	4.03E-117	2.01E-150	9.62E-183
	Std.	1.69E-46	2.75E-90	2.17E-116	7.71E-150	0.00E+00
F10	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F11	En iyi	1.02E+01	8.81E+00	7.25E+00	9.23E+00	1.05E+01
	Ortalama	1.25E+01	1.15E+01	1.08E+01	1.11E+01	1.27E+01
	Std.	1.27E+00	2.08E+00	1.79E+00	1.58E+00	1.40E+00
F12	En iyi	1.87E-124	5.48E-203	8.14E-258	2.32E-320	0.00E+00
	Ortalama	3.66E-102	1.33E-181	2.08E-241	3.04E-303	0.00E+00
	Std.	1.79E-101	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00



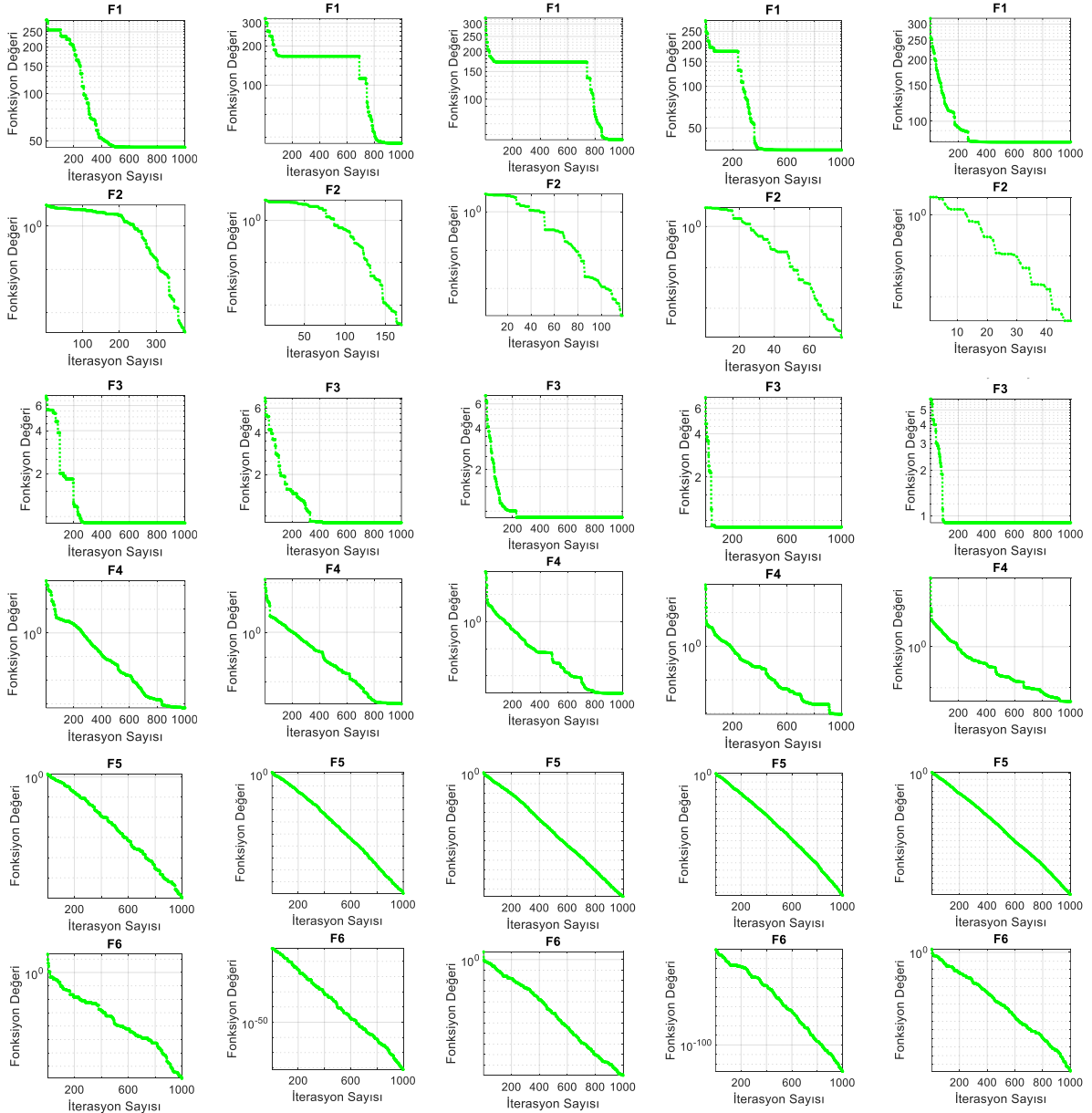


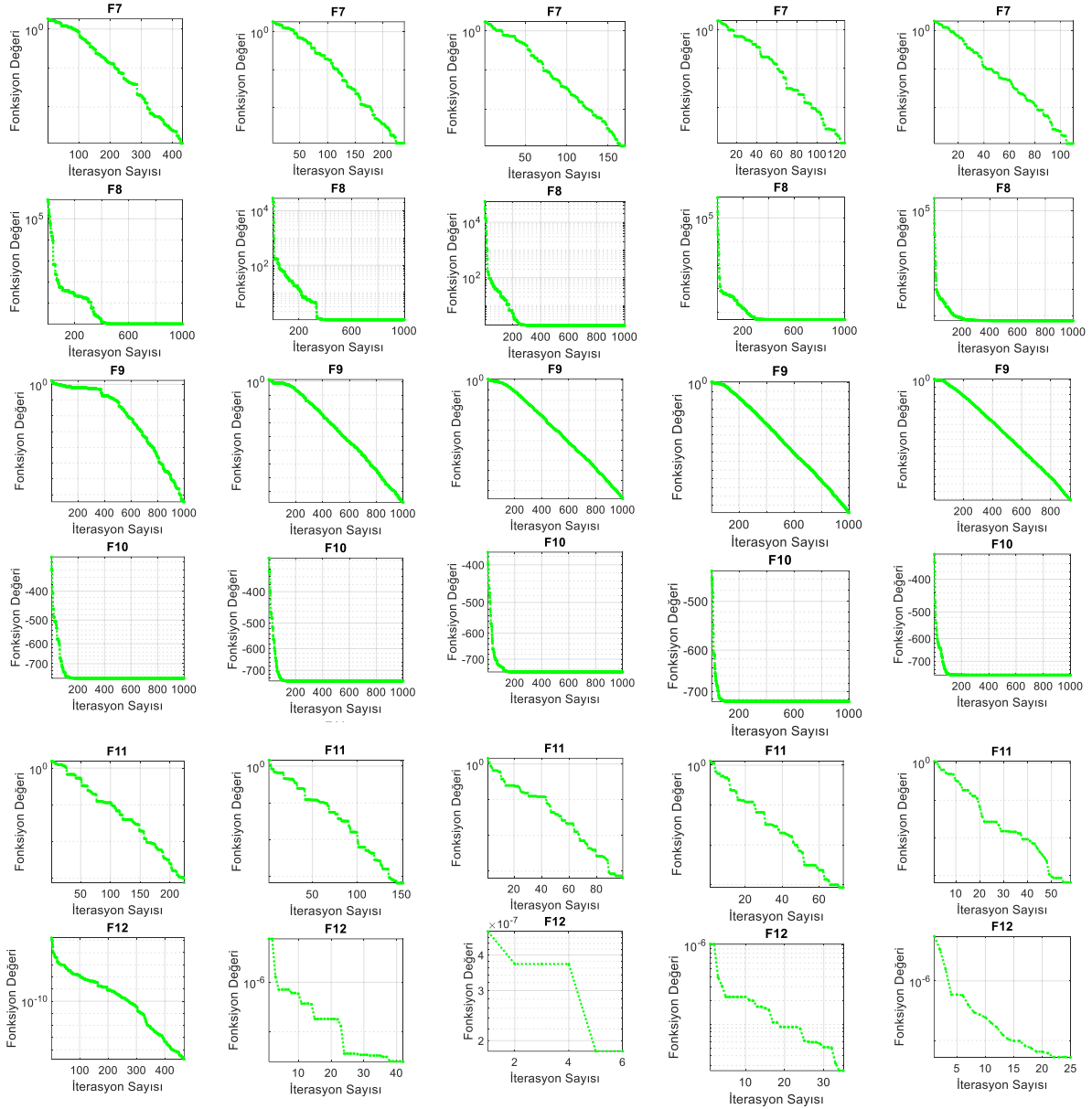
Şekil 3. Tek modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:25)

Tablo 6. Çok modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:25)

		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
F1	En iyi	4.54E+01	3.57E+01	5.55E+01	3.45E+01	7.91E+01
	Ortalama	1.08E+02	1.08E+02	1.15E+02	1.17E+02	1.32E+02
	Std.	3.13E+01	2.95E+01	2.78E+01	2.97E+01	2.66E+01
F2	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	En iyi	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01
	Ortalama	9.47E-01	9.03E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01
	Std.	5.00E-02	1.80E-02	4.44E-16	4.44E-16	4.44E-16
F4	En iyi	1.41E-16	2.92E-15	6.05E-14	7.04E-11	2.12E-07
	Ortalama	1.97E-10	3.47E-12	2.08E-10	4.58E-07	1.02E-04
	Std.	7.62E-10	1.45E-11	7.10E-10	1.88E-06	1.91E-04
F5	En iyi	1.00E-60	2.32E-100	1.20E-128	6.36E-165	5.43E-198
	Ortalama	1.25E-05	1.01E-91	4.42E-120	1.14E-151	4.62E-182
	Std.	3.16E-05	5.43E-91	2.19E-119	5.86E-151	0.00E+00
F6	En iyi	3.28E-40	7.58E-82	1.37E-110	1.93E-128	7.04E-139
	Ortalama	3.93E-19	7.98E-16	1.14E-55	1.17E-66	7.41E-51

	Std.	2.12E-18	4.30E-15	6.13E-55	6.31E-66	3.99E-50
F7	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F8	En iyi	1.00E+00	1.00E+00	1.90E+00	5.03E+00	6.38E+00
	Ortalama	4.49E+00	8.01E+00	1.24E+01	1.67E+01	1.93E+01
	Std.	3.15E+00	3.52E+00	7.03E+00	6.46E+00	8.72E+00
F9	En iyi	5.35E-38	2.65E-88	1.07E-118	1.95E-149	0.00E+00
	Ortalama	3.03E-02	2.78E-12	6.16E-81	1.96E-120	5.46E-160
	Std.	4.56E-02	1.50E-11	3.32E-80	1.05E-119	2.94E-159
F10	En iyi	-7.83E+02	-7.55E+02	-7.55E+02	-7.27E+02	-7.69E+02
	Ortalama	-7.35E+02	-7.11E+02	-6.93E+02	-6.90E+02	-6.87E+02
	Std.	3.47E+01	2.02E+01	2.95E+01	2.82E+01	3.35E+01
F11	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F12	En iyi	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
	Ortalama	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
	Std.	1.85E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00



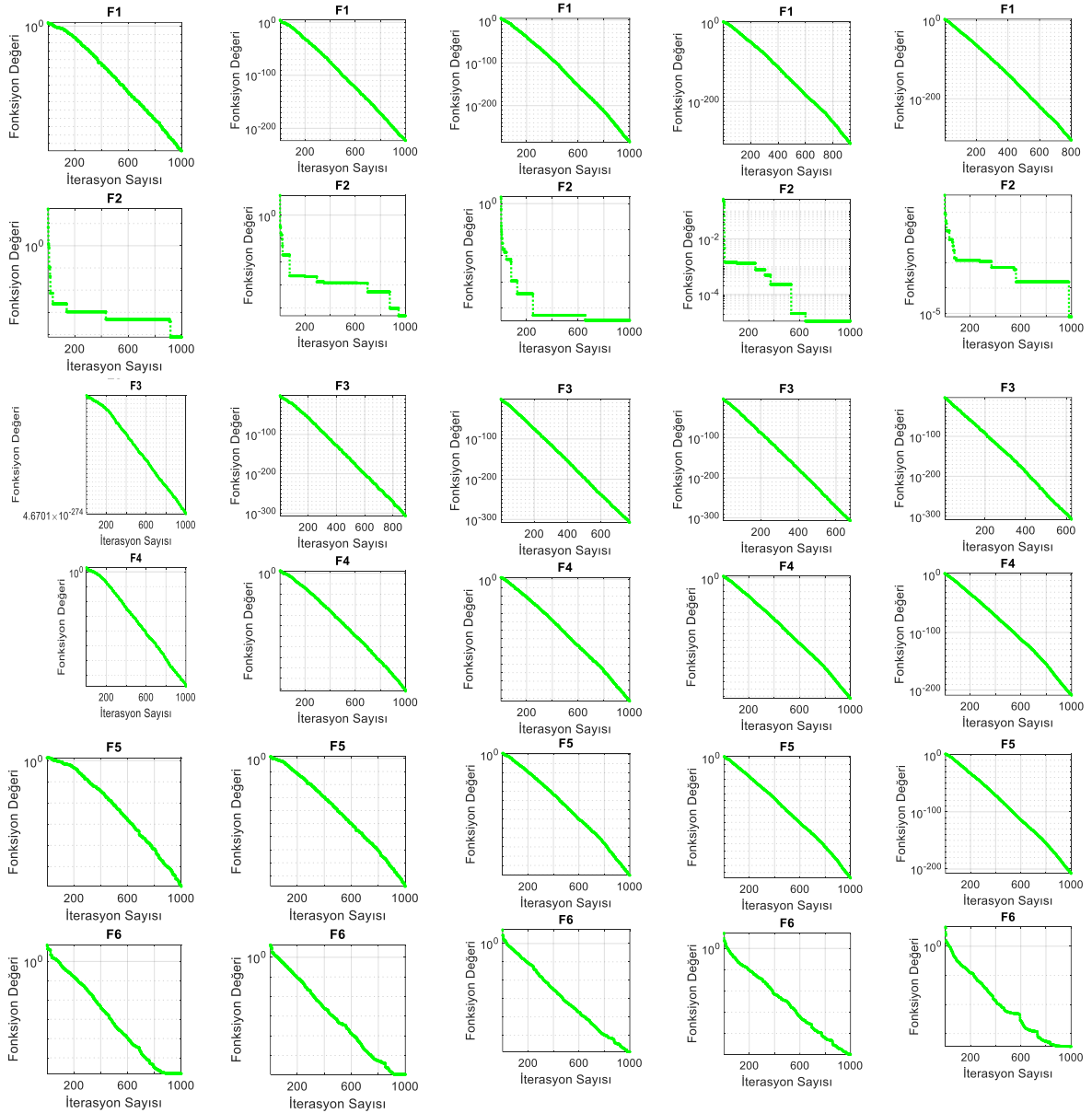


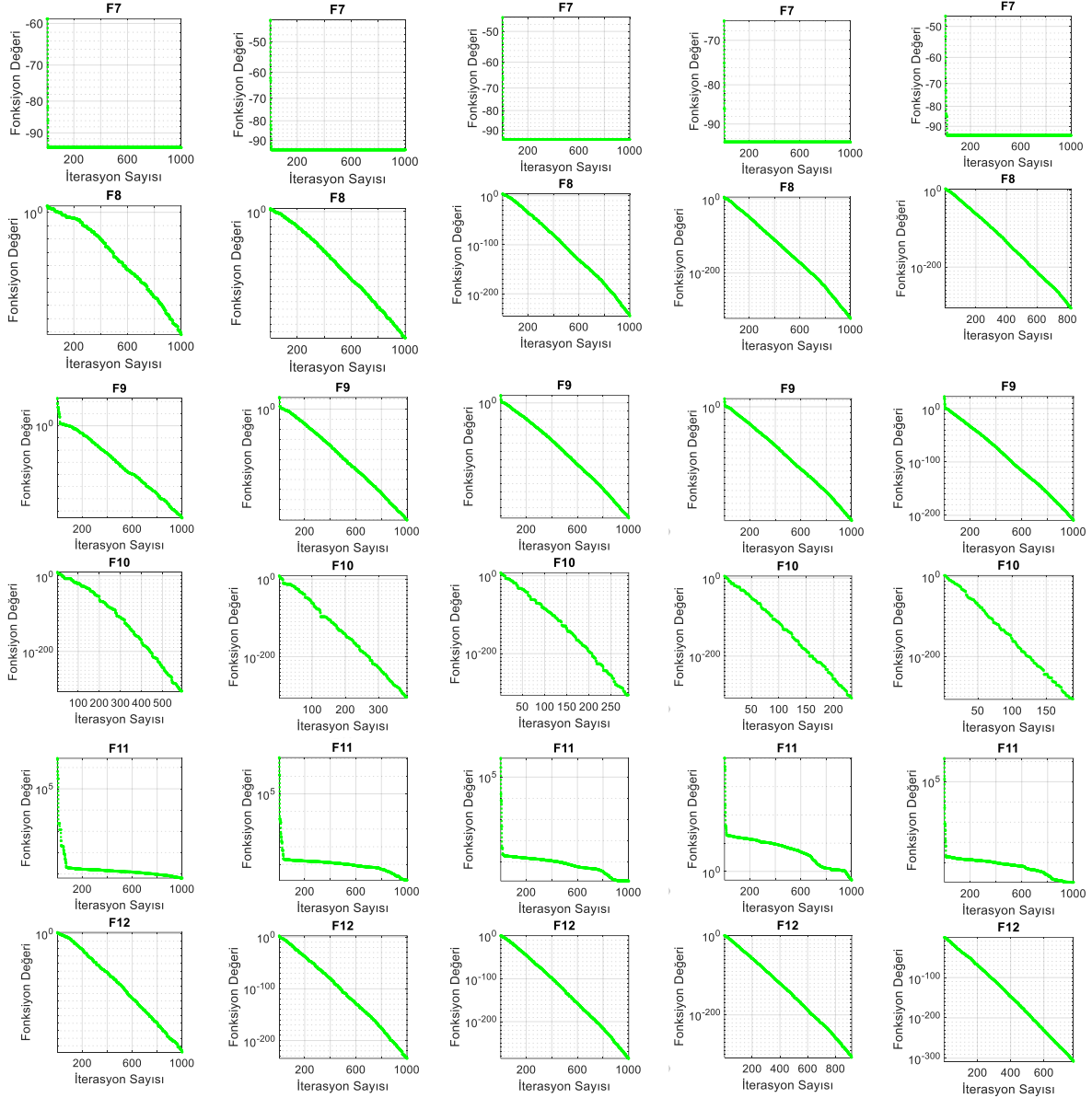
Şekil 4. Çok modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:25)

Tablo 7. Tek modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:50)

		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
F1	En iyi	2.02E-149	5.84E-224	1.51E-285	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	5.78E-134	9.53E-212	1.41E-271	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	3.11E-133	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F2	En iyi	7.58E-05	4.66E-05	3.34E-05	1.12E-05	7.37E-06
	Ortalama	6.20E-04	3.16E-04	2.43E-04	1.87E-04	1.94E-04
	Std.	3.60E-04	1.58E-04	1.79E-04	1.32E-04	2.12E-04
F3	En iyi	4.67E-274	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	2.93E-252	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F4	En iyi	3.11E-78	5.97E-113	4.47E-144	6.46E-174	1.26E-209
	Ortalama	3.97E-71	3.74E-108	2.54E-137	8.97E-168	1.73E-203
	Std.	8.48E-71	1.36E-107	1.09E-136	0.00E+00	0.00E+00
F5	En iyi	3.82E-60	9.95E-99	1.70E-131	3.10E-168	1.10E-208
	Ortalama	5.76E-53	2.01E-92	5.75E-127	3.11E-162	4.08E-199
	Std.	3.01E-52	6.40E-92	1.29E-126	1.37E-161	0.00E+00
F6	En iyi	7.94E-30	1.29E-30	3.22E-30	1.05E-25	6.18E-18

	Ortalama	2.33E-26	7.77E-28	6.77E-26	5.21E-22	7.31E-12
	Std.	5.63E-26	1.73E-27	2.15E-25	1.38E-21	3.93E-11
F7	En iyi	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01
	Ortalama	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01	-9.50E+01
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F8	En iyi	1.04E-92	5.58E-169	1.18E-245	4.00E-323	0.00E+00
	Ortalama	1.10E-78	1.08E-157	3.29E-226	1.79E-304	0.00E+00
	Std.	4.21E-78	3.17E-157	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F9	En iyi	1.57E-76	4.36E-111	1.74E-143	1.65E-177	4.53E-210
	Ortalama	3.89E-68	1.81E-107	7.73E-138	1.21E-166	8.26E-202
	Std.	1.83E-67	7.16E-107	1.81E-137	0.00E+00	0.00E+00
F10	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F11	En iyi	6.28E+00	1.27E+00	1.23E+00	4.92E-01	1.06E+00
	Ortalama	8.79E+00	5.26E+00	3.67E+00	4.29E+00	5.66E+00
	Std.	1.44E+00	1.80E+00	1.88E+00	2.52E+00	1.65E+00
F12	En iyi	2.45E-159	2.96E-235	1.47E-286	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	3.86E-145	8.92E-219	6.18E-275	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	1.26E-144	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00



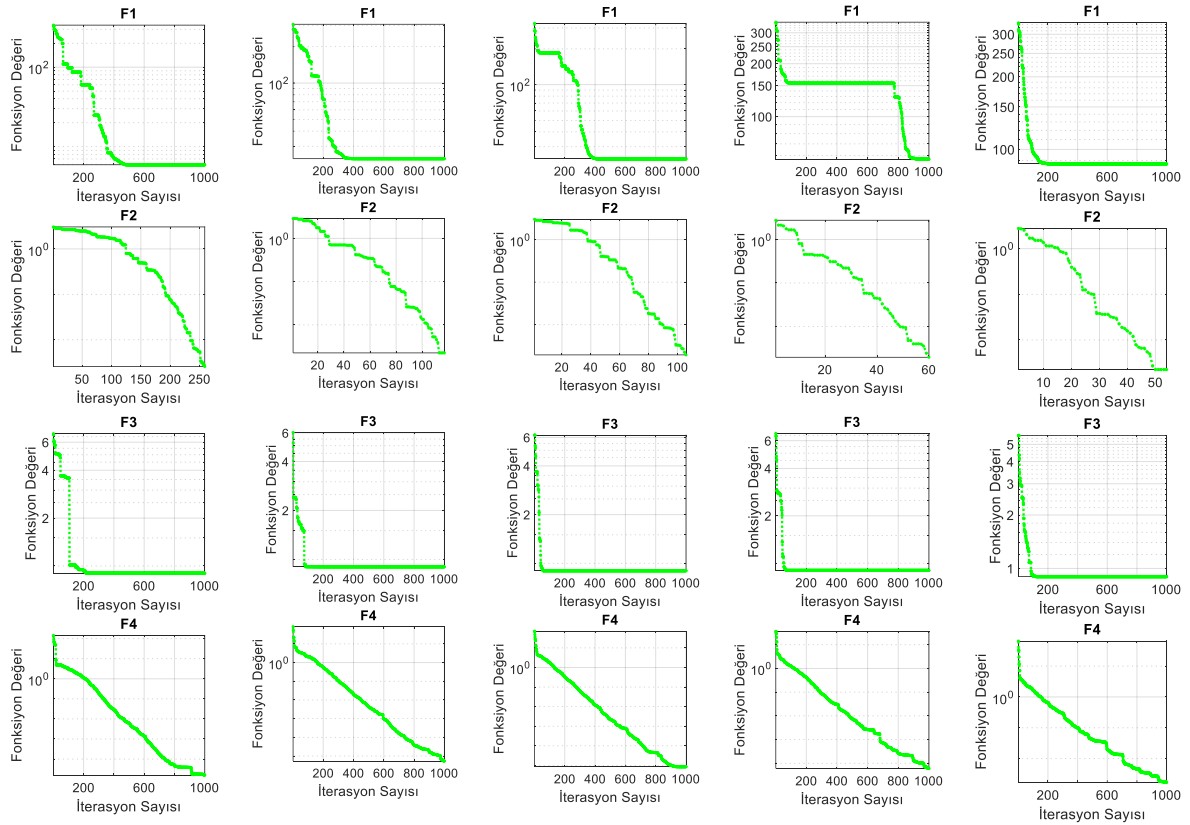


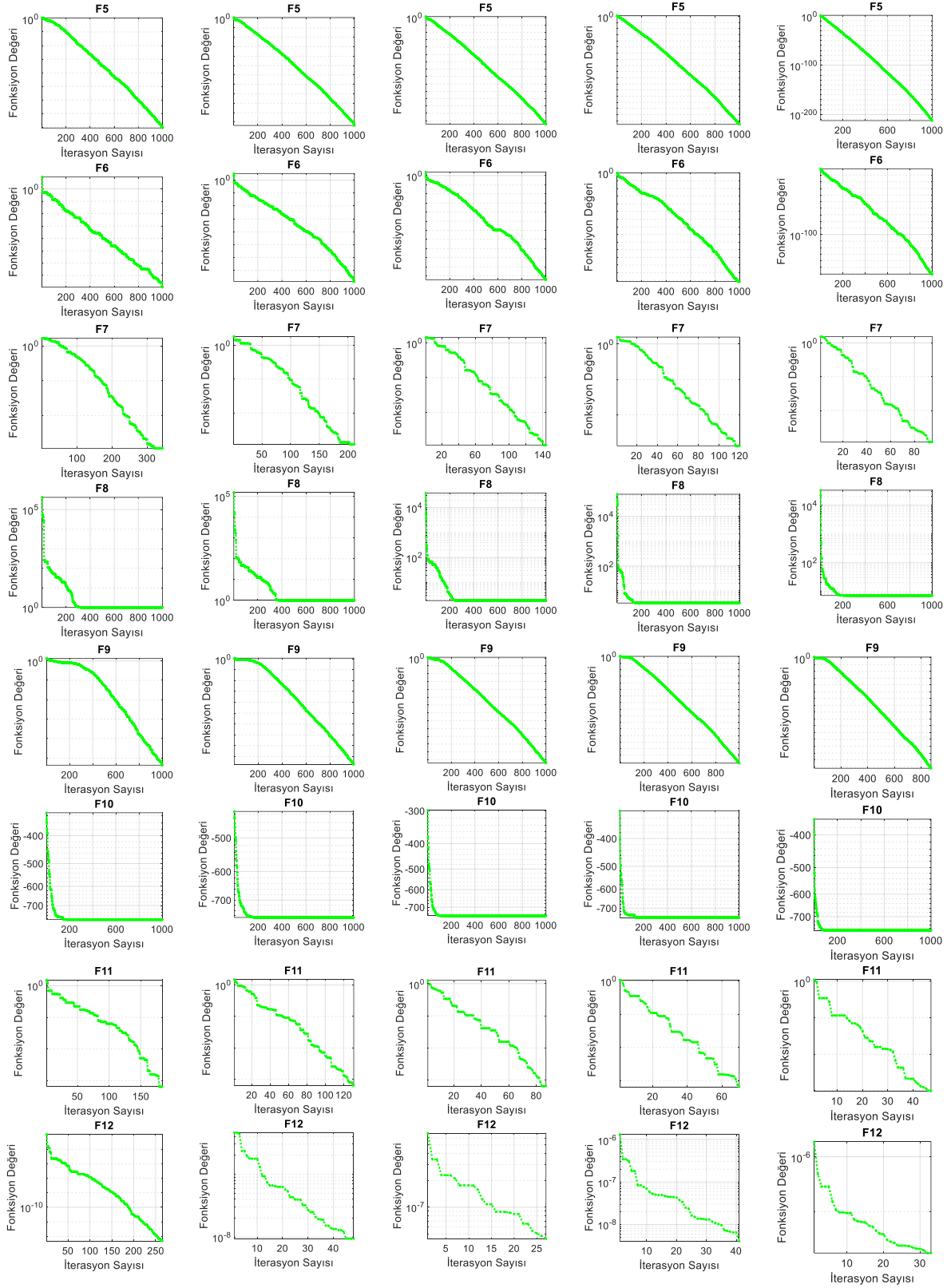
Şekil 5. Tek modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:50)

Tablo 8. Çok modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:50)

		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
F1	En iyi	5.92E+00	2.37E+01	2.37E+01	5.73E+01	8.71E+01
	Ortalama	8.98E+01	9.74E+01	1.05E+02	1.11E+02	1.27E+02
	Std.	4.35E+01	3.45E+01	3.59E+01	2.47E+01	2.16E+01
F2	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F3	En iyi	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01
	Ortalama	9.13E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01	9.00E-01
	Std.	3.40E-02	4.44E-16	4.44E-16	4.44E-16	4.44E-16
F4	En iyi	1.04E-24	4.68E-27	4.66E-26	7.86E-22	1.55E-14
	Ortalama	3.61E-20	1.80E-23	1.78E-21	9.10E-18	8.25E-10
	Std.	1.08E-19	7.82E-23	7.85E-21	2.72E-17	3.80E-09
F5	En iyi	2.14E-81	2.35E-114	2.23E-145	1.31E-176	7.47E-213
	Ortalama	6.30E-07	1.51E-110	3.28E-136	7.19E-171	9.56E-206
	Std.	3.39E-06	3.39E-110	1.76E-135	0.00E+00	0.00E+00
F6	En iyi	1.96E-40	2.91E-79	6.81E-115	2.93E-142	9.75E-161

	Ortalama	3.26E-23	5.41E-41	1.34E-80	3.06E-63	1.56E-47
	Std.	1.75E-22	2.91E-40	5.60E-80	1.65E-62	8.38E-47
F7	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F8	En iyi	1.00E+00	1.00E+00	1.90E+00	3.24E+00	7.28E+00
	Ortalama	1.94E+00	5.98E+00	9.67E+00	1.28E+01	1.65E+01
	Std.	1.46E+00	3.05E+00	4.58E+00	4.93E+00	6.66E+00
F9	En iyi	1.99E-54	8.70E-98	8.79E-135	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	3.33E-03	5.90E-70	7.42E-103	3.00E-144	0.00E+00
	Std.	1.79E-02	2.36E-69	3.97E-102	1.54E-143	0.00E+00
F10	En iyi	-7.83E+02	-7.69E+02	-7.55E+02	-7.55E+02	-7.69E+02
	Ortalama	-7.46E+02	-7.11E+02	-7.08E+02	-6.94E+02	-6.91E+02
	Std.	2.29E+01	3.46E+01	3.13E+01	2.81E+01	3.11E+01
F11	En iyi	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Ortalama	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F12	En iyi	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
	Ortalama	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
	Std.	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00





Şekil 6. Çok modlu fonksiyonlar (vektör sayısı:50)

Sonuçlar incelendiğinde GBO algoritmasının 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 ve 0,9 parametre değerleri için tek modlu fonksiyonlarda başarı elde ettiği en iyi durum parametre değeri 0,9 olduğu durumudur. Tüm parametre değerleri için vektör sayıları 10, 25 ve 50 değerlerinde algoritmanın elde ettiği sonuçların değişmediği görülmüştür.

Çok modlu fonksiyonlarda ise parametre değeri 0,9 olduğu durumda algoritma en iyi sonucu bulmuştur. 3 farklı vektör sayı değerlerinin uygulama sonucunda ise algoritma iyi sonucu elde etmek için herhangi bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Parametre değeri 0,9 olduğu durumda tek modlu fonksiyonlarda daha fazla en iyi sonucu elde ederken çok modlu fonksiyonlarda ise tek modlulara göre daha az en iyi sonuç elde etmiştir

4. Sonuçlar

Bu çalışmada GBO algoritmasının parametre ayarlaması yapılmıştır. Parametrenin en iyi değerini elde edebilmek için 12 farklı tek modlu ve 12 farklı çok modlu test fonksiyonları kullanılmıştır. Aynı zamanda vektör sayısının ayarlaması da yapılmıştır. Parametre değerleri en iyi sonucu en fazla hangi değerde buluyor ise o parametre değeri tavsiye niteliğinde olacaktır. Algoritmanın parametre değeri [0,1-0,9] aralığındadır. Vektör sayısı ise 10, 25 ve 50 dir. GBO algoritması test fonksiyonlarına uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar incelendiğinde parametre değeri 0,9 olduğunda en yüksek başarı elde edilmiştir. Vektör sayısı denendiğinde ise algoritma sonuçlarında herhangi bir değişme olmamıştır. Bu sebepten dolayı GBO algoritması için 0,9 parametre değeri en iyi sonucu elde etmektedir. Gelecek çalışmalarda ise GBO algoritmasının parametre değeri 0,9 alındığında daha iyi sonuçlar elde edeceği düşünüldüğünden tavsiye edilmektedir.

5. Teşekkür

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ve Şırnak Üniversitesi bilimsel araştırma projeleri koordinatörlüklerine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Aala Kalananda, V. K. R., & Komanapalli, V. L. N. (2021). A combinatorial social group whale optimization algorithm for numerical and engineering optimization problems. *Applied Soft Computing*, 99, 106903. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106903>
- Ahmadianfar, I., Bozorg-Haddad, O., & Chu, X. (2020). Gradient-based optimizer: A new metaheuristic optimization algorithm. *Information Sciences*, 540, 131-159. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.06.037>
- Akay, B., & Karaboga, D. (2012). A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization. *Information Sciences*, 192, 120-142. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.07.015>
- Alavidoost, M. H., Zarandi, M. H. F., Tarimoradi, M., & Nemati, Y. (2017). Modified genetic algorithm for simple straight and U-shaped assembly line balancing with fuzzy processing times. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(2), 313-336. doi:10.1007/s10845-014-0978-4
- Beskirli, A., Beskirli, M., Hakli, H., & Uguz, H. (2018). Comparing energy demand estimation using artificial algae algorithm: The case of Turkey. *Journal of Clean Energy Technologies*, 6(4), 349-352. doi:10.18178/jocet.2018.6.4.487
- Beşkirli, A., & Dağ, İ. (2020). A new binary variant with transfer functions of Harris Hawks Optimization for binary wind turbine micrositeing. *Energy Reports*, 6, 668-673. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.154>
- Beşkirli, A., Özdemir, D., & Temurtaş, H. (2020). A comparison of modified tree-seed algorithm for high-dimensional numerical functions. *Neural Computing and Applications*, 32(11), 6877-6911. doi:10.1007/s00521-019-04155-3
- Beşkirli, A., Temurtaş, H., & Özdemir, D. (2020). Determination with Linear Form of Turkey's Energy Demand Forecasting by the Tree Seed Algorithm and the Modified Tree Seed Algorithm. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 20(2), 27-34. doi:10.4316/AECE.2020.02004
- Dhiman, G., & Kaur, A. (2019). STOA: A bio-inspired based optimization algorithm for industrial engineering problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 82, 148-174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.03.021>
- Houssein, E. H., Saad, M. R., Hashim, F. A., Shaban, H., & Hassaballah, M. (2020). Lévy flight distribution: A new metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 94, 103731. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103731>
- Huerta, I. I., Neira, D. A., Ortega, D. A., Varas, V., Godoy, J., & Asín-Achá, R. (2022). Improving the state-of-the-art in the Traveling Salesman Problem: An Anytime Automatic Algorithm Selection. *Expert Systems with Applications*, 187, 115948. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115948>
- Kıran, M. S., & Findık, O. (2015). A directed artificial bee colony algorithm. *Applied Soft Computing*, 26, 454-462. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.10.020>
- Kutlu Onay, F., & Aydemir, S. B. (2022). Chaotic hunger games search optimization algorithm for global optimization and engineering problems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 192, 514-536. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matcom.2021.09.014>
- Makhloufi, S. (2015). Comparative study between classical methods and genetic algorithms for sizing remote PV systems. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 6(3), 221-231. doi:10.1007/s40095-015-0170-4
- Salgotra, R., Singh, U., Singh, G., Mittal, N., & Gandomi, A. H. (2021). A self-adaptive hybridized differential evolution naked mole-rat algorithm for engineering optimization problems. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 383, 113916. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cma.2021.113916>
- Shabani, A., Asgarian, B., Salido, M., & Asil Gharebaghi, S. (2020). Search and rescue optimization algorithm: A new optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 161, 113698. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113698>
- Sulaiman, M. H., Mustaffa, Z., Saari, M. M., & Daniyal, H. (2020). Barnacles Mating Optimizer: A new bio-inspired algorithm for solving engineering optimization problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103330. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103330>
- Umam, M. S., Mustafid, M., & Suryono, S. (2021). A hybrid genetic algorithm and tabu search for minimizing makespan in flow shop scheduling problem. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.08.025>



Development and Simulation of 39 DOF Vehicle Model

Adem Tunçdamar^{1*}

^{1*} Turkish Aerospace Industries, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7123-3942), ademtuncdamarr@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010815)

ATIF/REFERENCE: Tunçdamar, A. (2021). Development and Simulation of 39 DOF Vehicle Model. *European Journal of Science and Technology*, (28), 743-752.

Abstract

In this study, a 39 degree-of-freedom mass-spring-damper model of a vehicle was developed. The model consists of 4 parts: wheels and suspensions, vehicle body, seats and passengers. A human model with 7 degrees of freedom was used to model the passengers. Equations of motion were obtained by drawing the free body diagram of each part. In order to solve the obtained equations of motion numerically, a model was created in the Simulink environment. To verify the accuracy of the outputs from the Simulink model, the script was written using the Python programming language. The developed model was tested by applying a road profile. Outputs from the Simulink model and test script are in agreement with each other and with the literature. Thanks to this study, the situations that affect passenger and driving comfort during vehicle design will be examined in detail with less experimentation.

Keywords: Vehicle model, Simulink, Mathematical modelling, Passenger, 39 DOF.

39 DOF Araç Modelinin Geliştirilmesi ve Simülasyonu

Öz

Bu çalışmada bir aracın 39 serbestlik dereceli kütle-yay-damper modeli geliştirilmiştir. Model; tekerlek ve süspansiyonlar, araç gövdesi, koltuklar ve yolcular olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Yolcuları modellemek için 7 serbestlik dereceli bir insan modeli kullanılmıştır. Sistemi betimleyen hareket denklemleri her bir cismin serbest cisim diyagramı çizilerek elde edilmiştir. Elde edilen hareket denklemlerini sayısal olarak çözmek için Simulink modeli oluşturulmuştur. Simulink modelinden alınan çıktıların doğruluğunu teyit etmek için Python programla dili kullanılarak betik yazılmıştır. Geliştirilen model bir yol profilinde test edilmiştir. Simulink ve test betiğinden alınan çıktılar birbiriyle ve literatürle uyum içerisindedir. Bu çalışma sayesinde araç tasarımı sırasında yolcu ve sürüş konforunu etkileyen durumlar daha az deney yaparak, daha ucuz ve detaylı bir şekilde incelenebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Araç modeli, Simulink, Matematiksel modelleme, Yolcu, 39 DOF

* Corresponding Author: ademtuncdamarr@gmail.com

1. Introduction

Today, millions of automobiles are produced in hundreds of factories. The automobiles produced must meet the minimum safety requirements, meet the demands of the customer and be designed in accordance with the legal rules regulated by the laws. Mathematical models are used to check that the design requirements are met, to examine the effects of variable elements on the behaviour of the vehicle, to have preliminary information about the performance of the design before it goes into production, and for many different purposes. The most common mathematical modelling method used to predict the dynamical behaviour of the designed automobile against external factors (e.g. road profile) is the mass-spring-damper simulation. In this method, it is assumed that the elements that make up the vehicle are rigid elements with a mass value, spring coefficient and damping coefficient. Mass-spring-damper vehicle models are divided into 3 in scope and complexity:

- Quarter vehicle models
- Half vehicle models
- Full vehicle models

In quarter vehicle models, it is assumed that the vehicle body consists of a combination of mass, spring and damper that only shifts up and down. The vehicle cannot rotate around any axis. Quarter vehicle models are the narrowest in scope, but the low computation time due to their simplicity makes these models effective in simple applications. Figure 1 shows a sample quarter car model (Hendrowati, 2012).

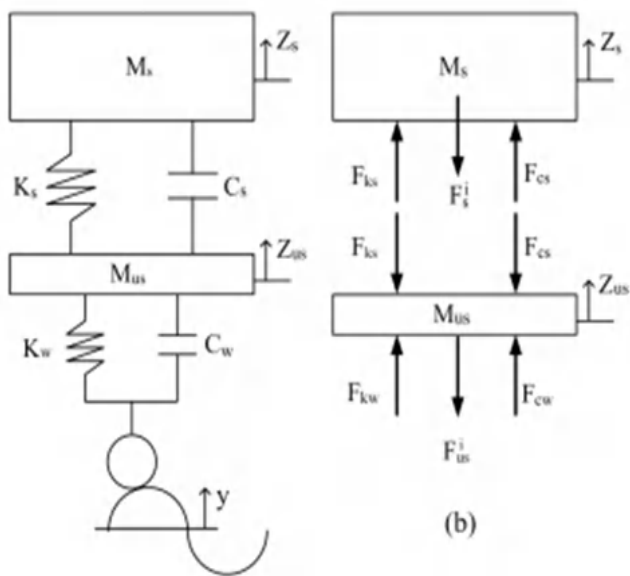


Figure 1 An example of a quarter vehicle model

If it is desired to model the pitch movement and pitching moment around the center of mass as well as the up-down translational movement of the vehicle body, half-vehicle models are used. Half vehicle models can be thought of as a system consisting of two wheels and a body, which is obtained simply by looking at the right or left profile of the vehicle. An exemplary half-car model is given in Figure 2 (Goga, 2012).

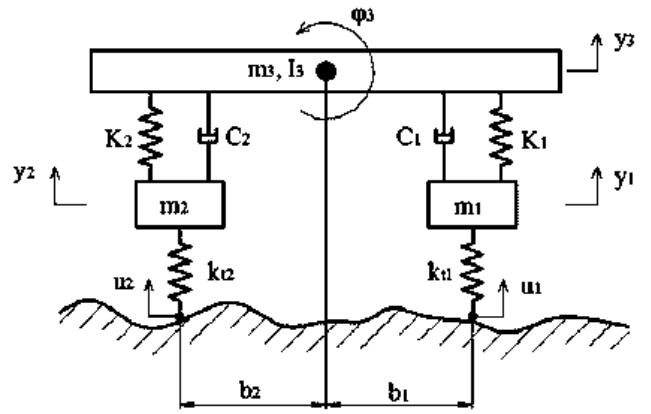


Figure 2 An example of a half vehicle model

If the up-down translational motion, pitch motion and pitching moment, roll motion and rolling moment are to be calculated simultaneously, full vehicle models should be used. Full vehicle models basically consist of 4 wheels and body. Seats on more advanced full-vehicle models, non-linear human models, etc. There may be additional parts such as Figure 3 shows the complete vehicle model consisting of 4 wheels, vehicle body and 1 seat (Meng, 2014).

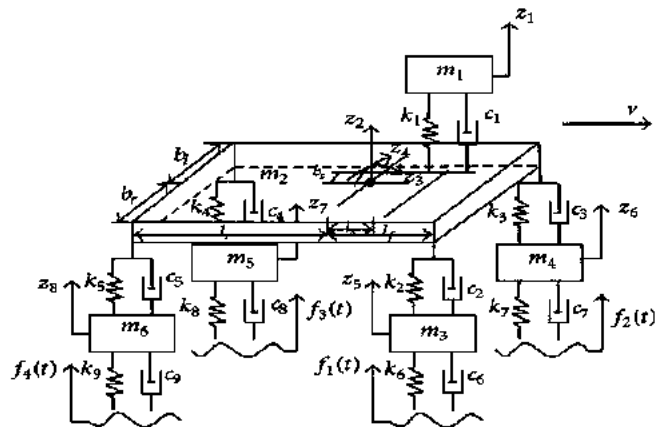


Figure 3 An example of a full vehicle model

In mass-spring-damper models, the spring and damping coefficients can generally be considered constant. This is acceptable for small displacements, but non-linear models should be used for large displacements. For nonlinear spring elements, Hooke's law (Equation 1) does not apply, and the force is usually expressed as a third-order polynomial of displacement (Equation 2).

$$F = kx \quad (1)$$

$$F = Ax + Bx^3 \quad (2)$$

Here x represents displacement. If the non-linear spring coefficients of the spring element used are known, an approximate linear spring coefficient can be obtained by making some assumptions (Rao, 1993). Let it be assumed that the static force F causes an x-shaped displacement on the spring. Suppose a relatively small force ΔF acts on the force F. Due to the added force ΔF, the spring deforms by Δx. If the forces acting on the spring element under these conditions open the Taylor series around the x equilibrium position,

$$F + \Delta F = F(x + \Delta x)$$

$$= F(x) + \frac{dF}{dx} \Big|_x \Delta x + \frac{1}{2!} \frac{d^2F}{dx^2} \Big|_x (\Delta x)^2 + \frac{1}{3!} \frac{d^3F}{dx^3} \Big|_x (\Delta x)^3 + \dots \quad (3)$$

expression is obtained. Assuming that small displacements are made, expressions with larger than first-order displacements can be neglected (Equation 4).

$$\Delta F = \frac{dF}{dx} \Big|_x (\Delta x) \quad (4)$$

If the expression in Equation 4 is likened to Hooke's law given in Equation 1, the equivalent spring coefficient can be obtained (Equation 5).

$$k_{eq} = \frac{dF}{dx} \Big|_x \quad (5)$$

The equivalent spring coefficient obtained in Equation 5 can be used for small displacements, but the error will increase as the displacements increase. To minimize the error, the neglected higher order terms in the Taylor series should also be taken into account. In this study, this method was used to linearize nonlinear spring elements.

In this study, 39 degrees of freedom mass-spring-dumper model of a 4-seat and 4-passenger vehicle developed in the light of the information given above is introduced.

2. Material and Method

The developed model consists of 4 parts,

- Wheels and suspensions
- Vehicle body
- Seats
- Human model

The general view of the developed model is given in Figure 4.

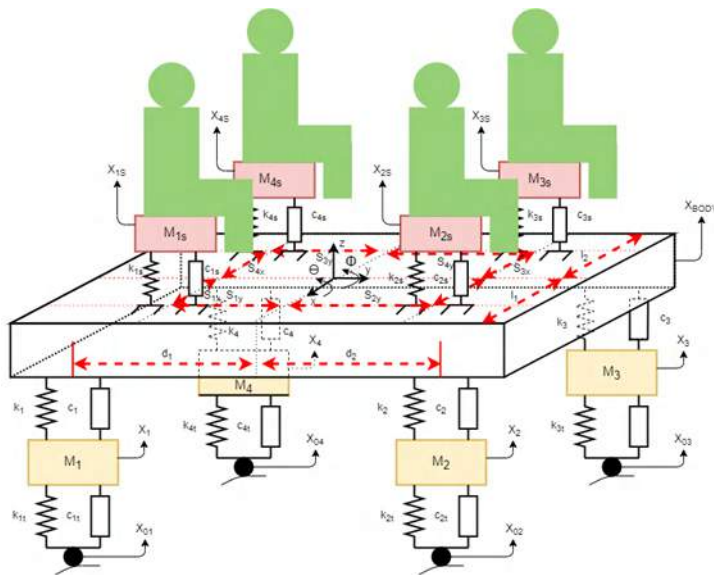


Figure 4 General view of 39 DOF vehicle model

The road profile applied to the wheels is included in the model with the input x_{oi} . The springiness and damping of each wheel are expressed by k_{it} spring coefficient and c_{it} damping coefficient. The mass of the wheels and suspen

tion system is represented by m_i . The degree of freedom of the said mass is 1 and it can only make up-down translational motion. The suspension system consists of a spring and a damping element. The springiness of the suspension system is expressed by the spring coefficient k_a , and the damping is expressed by the damping coefficient c_i . The d_1 and d_2 used in the model indicate the distance from the place where the suspension is attached to the vehicle body to the x-axis, and l_1 and l_2 indicate the distance from the y-axis. The index 'i' used in the symbols represents the wheel number.

In Figure 4, m_{as} represents the masses of the seats. The springiness and damping of the seats are expressed by the spring coefficient k_{as} and the damping coefficient c_{as} . The degrees of freedom of the seats are 1 and they can only move up and down. s_{ax} is the distance from the point where the seats are attached to the body to the y-axis, and s_{ay} is the distance to the x-axis. The index 'a' in the symbols indicates the seat number. The expression $m_{vehicle}$ is the mass of the vehicle body. The vehicle body can move up and down, it can make pitch movement and roll movement.

There is one passenger on each seat. The occupants in the vehicle are represented by the human model given in Figure 5 (Palanichamy, 1978).

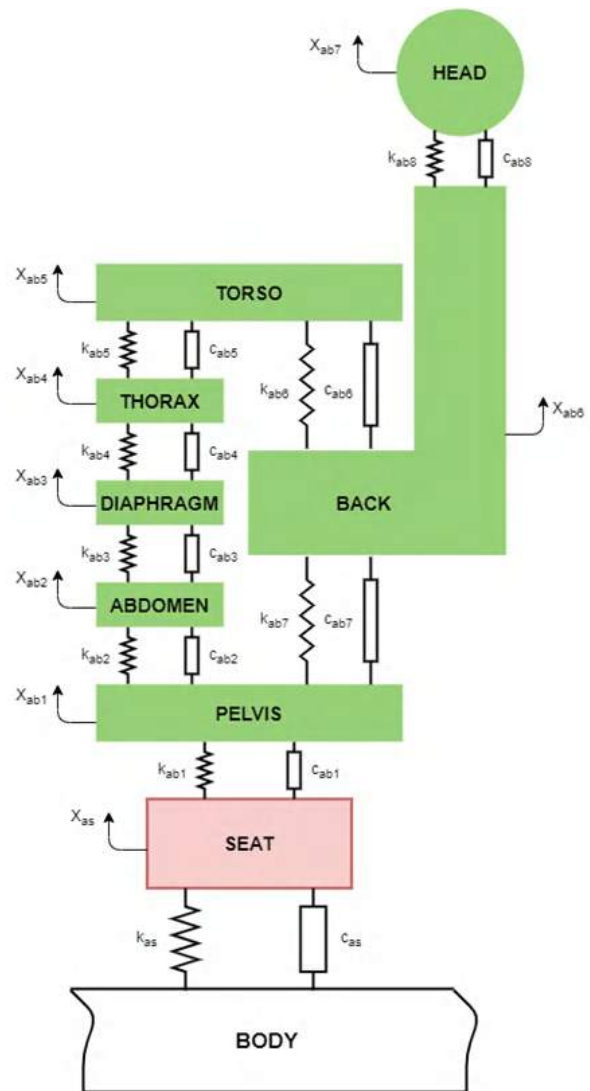


Figure 5 7 DOF human model

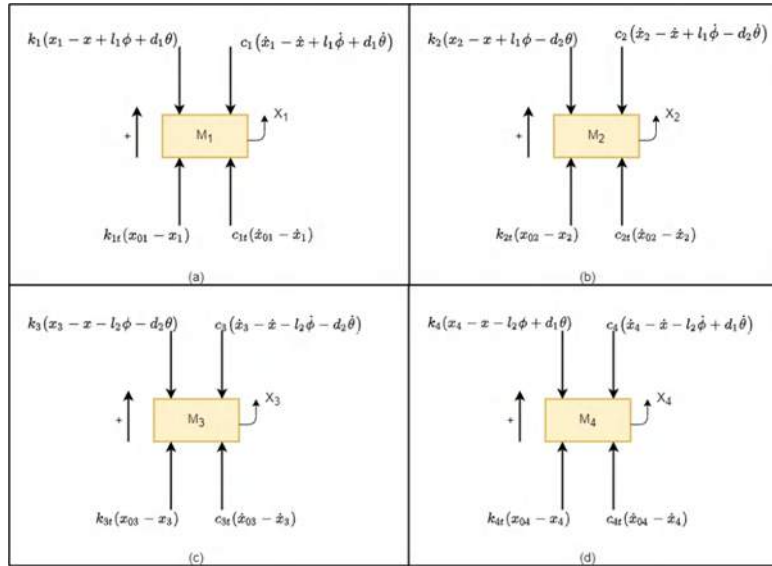


Figure 6 Free body diagrams of (a) m1 , (b)m2, (c)m3, (d)m4

The human model used consists of 7 parts: pelvis, abdomen, diaphragm, thorax, torso, back and head. Each part has 1 degree of freedom and can only move up and down. Here, the index ‘a’ denotes the passenger and seat number. The spring and damping elements used in the model are linear, and the non-linear parts are linearized sufficiently by using Equation 5. Equations of motion are derived by drawing a free body diagram for each element.

Free body diagrams are drawn by assuming $x_{oi} > x_i > x$ and $\sin\theta \approx \theta$ and $\sin\varphi \approx \varphi$ (Figure 6). If the force balance is written for $m_1, m_2, m_3,$ and $m_4,$ assuming the upward direction is positive,

$$\begin{aligned} \sum F_{m1} &= m_1 \ddot{x}_1 \\ &= k_{1t}(x_{01} - x_1) + c_{1t}(\dot{x}_{01} - \dot{x}_1) \\ &\quad - k_1(x_1 - x + l_1\varphi + d_1\theta) \\ &\quad - c_1(\dot{x}_1 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{m2} &= m_2 \ddot{x}_2 \\ &= k_{2t}(x_{02} - x_2) + c_{2t}(\dot{x}_{02} - \dot{x}_2) \\ &\quad - k_2(x_2 - x + l_1\varphi - d_2\theta) \\ &\quad - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta}) \end{aligned} \quad (7)$$

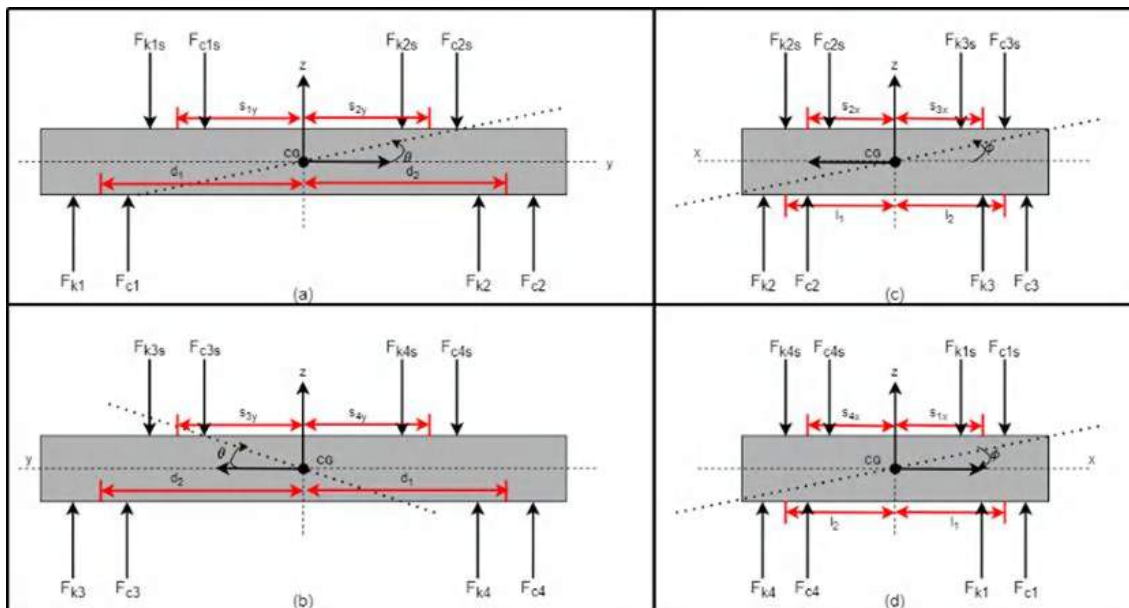


Figure 7 Free body diagrams of vehicle body (a)right side, (b)left side, (c)front side, (d)back side

$$\begin{aligned} \sum F_{m3} &= m_3 \ddot{x}_3 \\ &= k_{3t}(x_{03} - x_3) + c_{3t}(\dot{x}_{03} - \dot{x}_3) \\ &\quad - k_3(x_3 - x - l_2\varphi - d_2\theta) \\ &\quad - c_3(\dot{x}_3 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta}) \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_{m4} &= m_4 \ddot{x}_4 \\ &= k_{4t}(x_{04} - x_4) + c_{4t}(\dot{x}_{04} - \dot{x}_4) \\ &\quad - k_4(x_4 - x - l_2\varphi + d_1\theta) \\ &\quad - c_4(\dot{x}_4 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta}) \quad (9) \end{aligned}$$

The equations of motion are obtained for wheels and suspensions.

The vehicle body can perform up-down translation, pitch and roll movements. In other words, the degree of freedom is 3. For this reason, three equations of motion are needed to model the motion of the vehicle body. These equations will be obtained by creating one force and two moment balance equations. Vehicle body and free body diagrams of vehicle body are given in Figure 7 below.

The F_{ki} and F_{ci} forces in the figures above refer to the spring and damper forces from the suspensions, and the F_{kas} and F_{cas} forces to the spring and damper forces from the seats. Here, 'i' and 'a' are indices, where i represents the suspension and wheel number and a represents the seat number. In addition, the lengths of d_1 and d_2 indicate the distance from the point where the suspension is attached to the body to the x-axis, and the lengths of l_1 and l_2 indicate the distance from the y-axis. s_{ax} is the distance from the point where the seats are attached to the body to the y-axis, and s_{ay} is the distance from the x-axis. Here a is the index and represents the seat number.

Figure 7 Considering, if the force and moment balances are written by assuming positive upward direction and right-hand coordinate system (for $x_1, x_2, x_3, x_4 > x > x_{1s}, x_{2s}, x_{3s}, x_{4s}, \sin\theta \approx \theta, \sin\varphi \approx \varphi$),

$$\begin{aligned} \sum F_{body} &= m_{body} \ddot{x} \\ &= k_1(x_1 - x + l_1\varphi + d_1\theta) \\ &\quad + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta}) \\ &\quad + k_2(x_2 - x + l_1\varphi - d_2\theta) \\ &\quad + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta}) \\ &\quad + k_3(x_3 - x - l_2\varphi - d_2\theta) \\ &\quad + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta}) \\ &\quad + k_4(x_4 - x - l_2\varphi + d_1\theta) \\ &\quad + c_4(\dot{x}_4 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta}) \\ &\quad - k_{1s}(x - x_{1s} - s_{1y}\theta - s_{1x}\varphi) \\ &\quad - c_{1s}(\dot{x} - \dot{x}_{1s} - s_{1y}\dot{\theta} - s_{1x}\dot{\varphi}) \\ &\quad - k_{2s}(x - x_{2s} + s_{2y}\theta - s_{2x}\varphi) \\ &\quad - c_{2s}(\dot{x} - \dot{x}_{2s} + s_{2y}\dot{\theta} - s_{2x}\dot{\varphi}) \\ &\quad - k_{3s}(x - x_{3s} + s_{3y}\theta + s_{3x}\varphi) \\ &\quad - c_{3s}(\dot{x} - \dot{x}_{3s} + s_{3y}\dot{\theta} + s_{3x}\dot{\varphi}) \\ &\quad - k_{4s}(x - x_{4s} - s_{4y}\theta + s_{4x}\varphi) \\ &\quad - c_{4s}(\dot{x} - \dot{x}_{4s} - s_{4y}\dot{\theta} + s_{4x}\dot{\varphi}) \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_\theta &= I_{xx}\ddot{\theta} = -[k_1(x_1 - x + l_1\varphi + d_1\theta) \\ &\quad + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta})]d_1 \\ &\quad + [k_2(x_2 - x + l_1\varphi - d_2\theta) \\ &\quad + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta})]d_2 \\ &\quad + [k_3(x_3 - x - l_2\varphi - d_2\theta) \\ &\quad + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta})]d_2 \\ &\quad - [k_4(x_4 - x - l_2\varphi + d_1\theta) \\ &\quad + c_4(\dot{x}_4 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta})]d_1 \\ &\quad + [k_{1s}(x - x_{1s} - s_{1y}\theta - s_{1x}\varphi) \\ &\quad + c_{1s}(\dot{x} - \dot{x}_{1s} - s_{1y}\dot{\theta} - s_{1x}\dot{\varphi})]s_{1y} \\ &\quad - [k_{2s}(x - x_{2s} + s_{2y}\theta - s_{2x}\varphi) \\ &\quad + c_{2s}(\dot{x} - \dot{x}_{2s} + s_{2y}\dot{\theta} - s_{2x}\dot{\varphi})]s_{2y} \\ &\quad - [k_{3s}(x - x_{3s} + s_{3y}\theta + s_{3x}\varphi) \\ &\quad + c_{3s}(\dot{x} - \dot{x}_{3s} + s_{3y}\dot{\theta} + s_{3x}\dot{\varphi})]s_{3y} \\ &\quad + [k_{4s}(x - x_{4s} - s_{4y}\theta + s_{4x}\varphi) \\ &\quad + c_{4s}(\dot{x} - \dot{x}_{4s} - s_{4y}\dot{\theta} + s_{4x}\dot{\varphi})]s_{4y} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_\varphi &= I_{yy}\ddot{\varphi} = -[k_1(x_1 - x + l_1\varphi + d_1\theta) \\ &\quad + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta})]l_1 \\ &\quad - [k_2(x_2 - x + l_1\varphi - d_2\theta) \\ &\quad + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x} + l_1\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta})]l_1 \\ &\quad + [k_3(x_3 - x - l_2\varphi - d_2\theta) \\ &\quad + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} - d_2\dot{\theta})]l_2 \\ &\quad + [k_4(x_4 - x - l_2\varphi + d_1\theta) \\ &\quad + c_4(\dot{x}_4 - \dot{x} - l_2\dot{\varphi} + d_1\dot{\theta})]l_2 \\ &\quad + [k_{1s}(x - x_{1s} - s_{1y}\theta - s_{1x}\varphi) \\ &\quad + c_{1s}(\dot{x} - \dot{x}_{1s} - s_{1y}\dot{\theta} - s_{1x}\dot{\varphi})]s_{1x} \\ &\quad + [k_{2s}(x - x_{2s} + s_{2y}\theta - s_{2x}\varphi) \\ &\quad + c_{2s}(\dot{x} - \dot{x}_{2s} + s_{2y}\dot{\theta} - s_{2x}\dot{\varphi})]s_{2x} \\ &\quad - [k_{3s}(x - x_{3s} + s_{3y}\theta + s_{3x}\varphi) \\ &\quad + c_{3s}(\dot{x} - \dot{x}_{3s} + s_{3y}\dot{\theta} + s_{3x}\dot{\varphi})]s_{3x} \\ &\quad - [k_{4s}(x - x_{4s} - s_{4y}\theta + s_{4x}\varphi) \\ &\quad + c_{4s}(\dot{x} - \dot{x}_{4s} - s_{4y}\dot{\theta} + s_{4x}\dot{\varphi})]s_{4x} \quad (12) \end{aligned}$$

The equations of motion of the vehicle body are obtained.

There are 4 seats in the developed vehicle model. The degrees of freedom of the seats are 1 and they can only move up and down. For the seats, the free body diagrams are drawn by assuming $x > x_{as} > x_{ab1}$ (Figure 8).

The m_{as} is mass of the seats. Considering Figure 8, if the force balances are written for the right-hand coordinate system, with the upward direction being positive,

$$\begin{aligned} \sum F_{m1s} &= m_{1s}\ddot{x}_{1s} \\ &= k_{1s}(x - x_{1s} - s_{1y}\theta - s_{1x}\varphi) \\ &\quad + c_{1s}(\dot{x} - \dot{x}_{1s} - s_{1y}\dot{\theta} - s_{1x}\dot{\varphi}) \\ &\quad - k_{1b1}(x_{1s} - x_{1b1}) \\ &\quad - c_{1b1}(\dot{x}_{1s} - \dot{x}_{1b1}) \quad (13) \end{aligned}$$

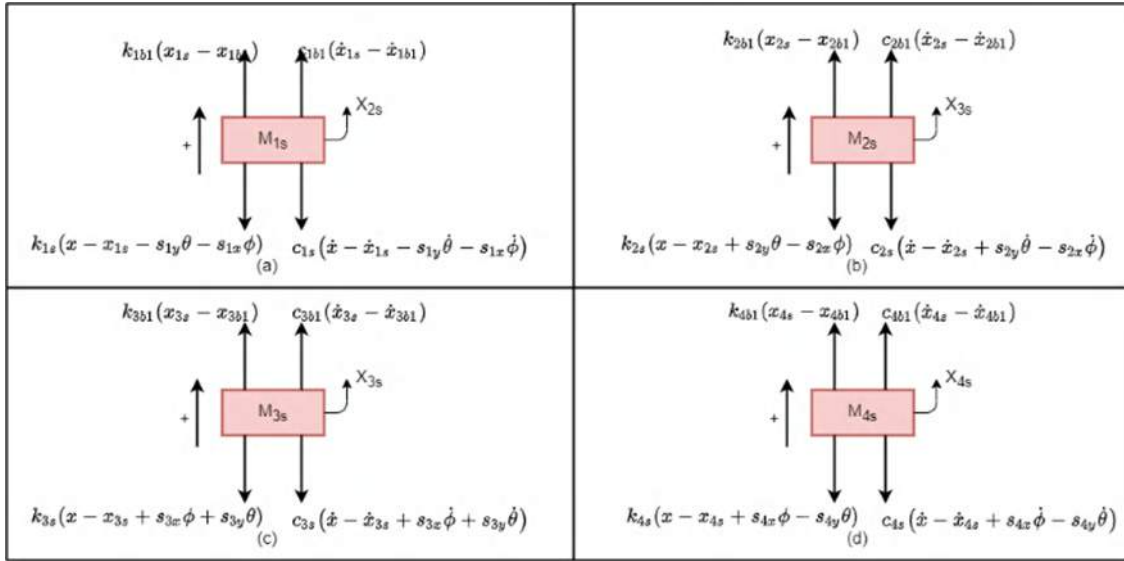


Figure 8 Free body diagrams of seats (a)first seat, (b)second seat, (c)third seat, (d)fourth seat

$$\begin{aligned} \sum F_{m2s} &= m_{2s} \ddot{x}_{2s} \\ &= k_{2s}(x - x_{2s} + s_{2y}\theta - s_{2x}\phi) \\ &\quad + c_{2s}(\dot{x} - \dot{x}_{2s} + s_{2y}\dot{\theta} - s_{2x}\dot{\phi}) \\ &\quad - k_{2b1}(x_{2s} - x_{2b1}) \\ &\quad - c_{2b1}(\dot{x}_{2s} - \dot{x}_{2b1}) \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_{m3s} &= m_{3s} \ddot{x}_{3s} \\ &= k_{3s}(x - x_{3s} + s_{3y}\theta + s_{3x}\phi) \\ &\quad + c_{3s}(\dot{x} - \dot{x}_{3s} + s_{3y}\dot{\theta} + s_{3x}\dot{\phi}) \\ &\quad - k_{3b1}(x_{3s} - x_{3b1}) \\ &\quad - c_{3b1}(\dot{x}_{3s} - \dot{x}_{3b1}) \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_{m4s} &= m_{4s} \ddot{x}_{4s} \\ &= k_{4s}(x - x_{4s} - s_{4y}\theta + s_{4x}\phi) \\ &\quad + c_{4s}(\dot{x} - \dot{x}_{4s} - s_{4y}\dot{\theta} + s_{4x}\dot{\phi}) \\ &\quad - k_{4b1}(x_{4s} - x_{4b1}) \\ &\quad - c_{4b1}(\dot{x}_{4s} - \dot{x}_{4b1}) \quad (16) \end{aligned}$$

The human model used consists of the pelvis, abdomen, diaphragm, thorax, torso, back, and head. Each of these parts has 1 degree of freedom and can only make up-down translational motion. A free body diagrams are drawn separately for each part, and the force balance equations are written by making the assumptions $x_{as} > x_{ab1} > x_{ab2} > x_{ab3} > x_{ab4} > x_{ab5}$, $x_{ab6} > x_{ab5}$ and $x_{ab1} > x_{ab6} > x_{ab7}$.

$$\begin{aligned} \sum F_{pelvis} &= m_{pelvis} \ddot{x}_{ab1} \\ &= k_{ab1}(x_{as} - x_{ab1}) + c_{ab1}(\dot{x}_{as} - \dot{x}_{ab1}) \\ &\quad - k_{ab2}(x_{ab1} - x_{ab2}) \\ &\quad - c_{ab2}(\dot{x}_{ab1} - \dot{x}_{ab2}) \\ &\quad - k_{ab7}(x_{ab1} - x_{ab6}) \\ &\quad - c_{ab7}(\dot{x}_{ab1} - \dot{x}_{ab6}) \quad (17) \end{aligned}$$

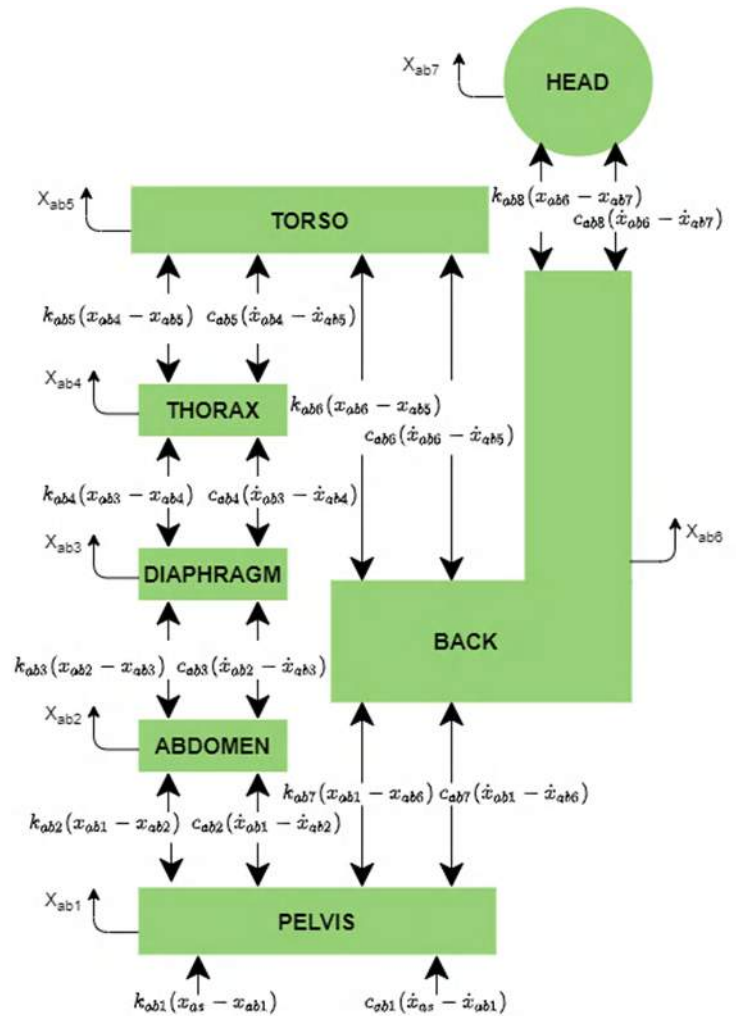


Figure 9 Free body diagram of 7 DOF human model

$$\begin{aligned} \sum F_{abdomen} &= m_{abdomen} \ddot{x}_{ab2} \\ &= k_{ab2}(x_{ab1} - x_{ab2}) \\ &+ c_{ab2}(\dot{x}_{ab1} - \dot{x}_{ab2}) \\ &- k_{ab3}(x_{ab2} - x_{ab3}) \\ &- c_{ab3}(\dot{x}_{ab2} - \dot{x}_{ab3}) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{diaphragm} &= m_{diaphragm} \ddot{x}_{ab3} \\ &= k_{ab3}(x_{ab2} - x_{ab3}) \\ &+ c_{ab3}(\dot{x}_{ab2} - \dot{x}_{ab3}) \\ &- k_{ab4}(x_{ab3} - x_{ab4}) \\ &- c_{ab4}(\dot{x}_{ab3} - \dot{x}_{ab4}) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{thorax} &= m_{thorax} \ddot{x}_{ab4} \\ &= k_{ab4}(x_{ab3} - x_{ab4}) \\ &+ c_{ab4}(\dot{x}_{ab3} - \dot{x}_{ab4}) \\ &- k_{ab5}(x_{ab4} - x_{ab5}) \\ &- c_{ab5}(\dot{x}_{ab4} - \dot{x}_{ab5}) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{torso} &= m_{torso} \ddot{x}_{ab5} \\ &= k_{ab5}(x_{ab4} - x_{ab5}) \\ &+ c_{ab5}(\dot{x}_{ab4} - \dot{x}_{ab5}) \\ &+ k_{ab6}(x_{ab6} - x_{ab5}) \\ &+ c_{ab6}(\dot{x}_{ab6} - \dot{x}_{ab5}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{back} &= m_{back} \ddot{x}_{ab6} \\ &= k_{ab7}(x_{ab1} - x_{ab6}) \\ &+ c_{ab7}(\dot{x}_{ab1} - \dot{x}_{ab6}) \\ &- k_{ab6}(x_{ab6} - x_{ab5}) \\ &- c_{ab6}(\dot{x}_{ab6} - \dot{x}_{ab5}) \\ &- k_{ab8}(x_{ab6} - x_{ab7}) \\ &- c_{ab8}(\dot{x}_{ab6} - \dot{x}_{ab7}) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{head} &= m_{head} \ddot{x}_{ab7} \\ &= k_{ab8}(x_{ab6} - x_{ab7}) \\ &+ c_{ab8}(\dot{x}_{ab6} - \dot{x}_{ab7}) \end{aligned} \quad (23)$$

solved. In this study, a simulation study was carried out in Simulink environment due to its simplicity and prevalence for the solution of equations. At the same time, the same equations were solved numerically by writing a program in Python programming language to verify the results obtained using Simulink. The general view of the created Simulink model is given in Figure 10.

The model consists of 15 sub-models, including 4 wheels and suspension, 4 seats, 3 vehicle bodies(x, θ , φ) and 4 human models (Figure 11).

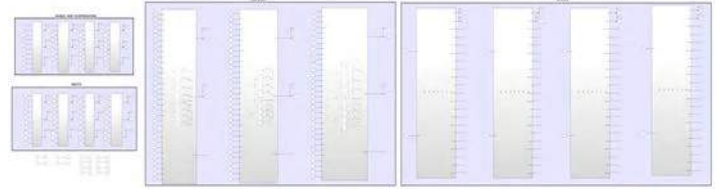


Figure 11 General view of sub-models

3. Results

An application has been made on the developed model. Before starting the application, it is necessary to determine some parameters in the model. The first of these is the geometrical and inertial properties of the vehicle to be used, as well as the spring and damping coefficients. In this application, the properties of an average passenger vehicle are used (Bowen L, 2019) (Table 1).

Table 1 Vehicle Parameters

Mass(kg)		Spring Coeff.(N/m)	
m_{body}	1506	k_{1t}	313767
m_1	72	k_{2t}	313767
m_2	72	k_{3t}	313767
m_3	72	k_{4t}	313767
m_4	72	k_1	30416
m_{1s}	90	k_2	30416
m_{2s}	90	k_3	30416
m_{3s}	90	k_4	30416
m_{4s}	90	k_{1s}	15000
Inertial Moments(kgm ²)		Dimensions(m)	
I_{xx}	2385	k_{2s}	15000
I_{yy}	407	k_{3s}	15000
		k_{4s}	15000
Damping Coeff.(Ns/m)		Dimensions(m)	
c_{1t}	150	s_{1x}	0,45
c_{2t}	150	s_{2x}	0,45
c_{3t}	150	s_{3x}	0,45
c_{4t}	150	s_{4x}	0,45
c_1	2500	s_{1y}	1
c_2	2500	s_{2y}	1
c_3	2500	s_{3y}	1
c_4	2500	s_{4y}	1
c_{1s}	150	d_1	2,128
c_{2s}	150	d_2	2,232
c_{3s}	150	L_1	0,911
c_{4s}	150	L_2	0,911

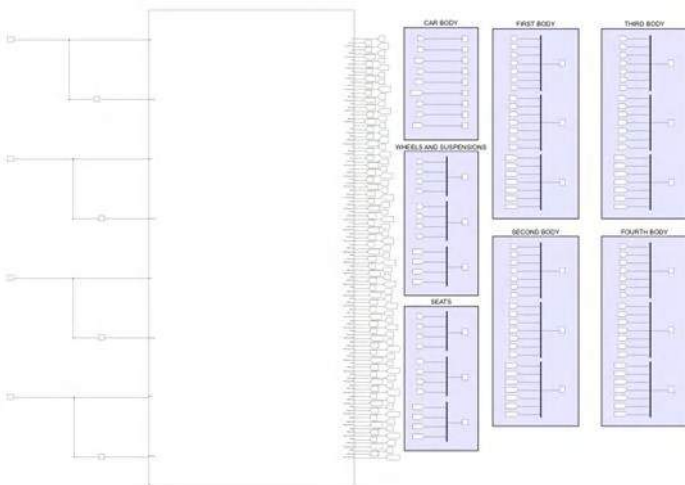


Figure 10 General view of Simulink model

Since the model has 39 degrees of freedom, there are 39 ordinary differential equations. In order to observe the dynamic behaviour of the system, these 39 differential equations must be

In addition, the mass, spring coefficient and damping coefficient values of the human model used should also be known. Linearized and optimized values of these parameters were used (Abbas, 2010) (Table 2).

Table 2 Parameters of 7 DOF human model

Mass(kg)	Spring Coeff.(N/m)	Damping Coeff.(Ns/m)
Pelvis	27,7	k_{ab1} 19325 C_{ab1} 463
Abdomen	6,02	k_{ab2} 1035 C_{ab2} 225
Diaphragm	0,4629	k_{ab3} 1052 C_{ab3} 354
Thorax	1,389	k_{ab4} 845 C_{ab4} 237
Torso	33,33	k_{ab5} 1001 C_{ab5} 351
Back	6,94	k_{ab6} 40943 C_{ab6} 2685
Head	5,55	k_{ab7} 39575 C_{ab7} 2929
		k_{ab8} 41978 C_{ab8} 3542

In order to solve the differential equations of a vehicle with these features, a road profile input must be provided to the system. In the application, 0.3 m high step entrances were applied to a vehicle traveling at 20 m/s. Since the distance between the wheels is 4.36 m, the time taken for the step input to reach the rear wheels is $4.36/20=0.218$ seconds. In this case, the road profile (step inputs) applied to the wheels is given in Figure 12.

39 ordinary differential equations are solved using the developed Simulink model under the above-mentioned conditions, at zero initial conditions, and for a solution interval of 25 seconds (0-25s). In the figures below, the position, velocity and acceleration outputs obtained from the Simulink model are given (Figure 13).

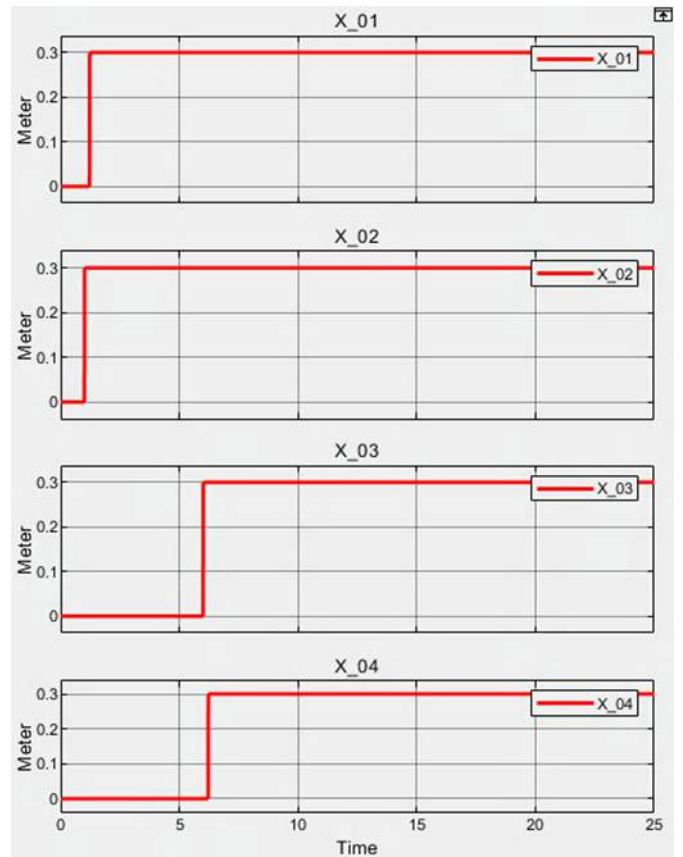
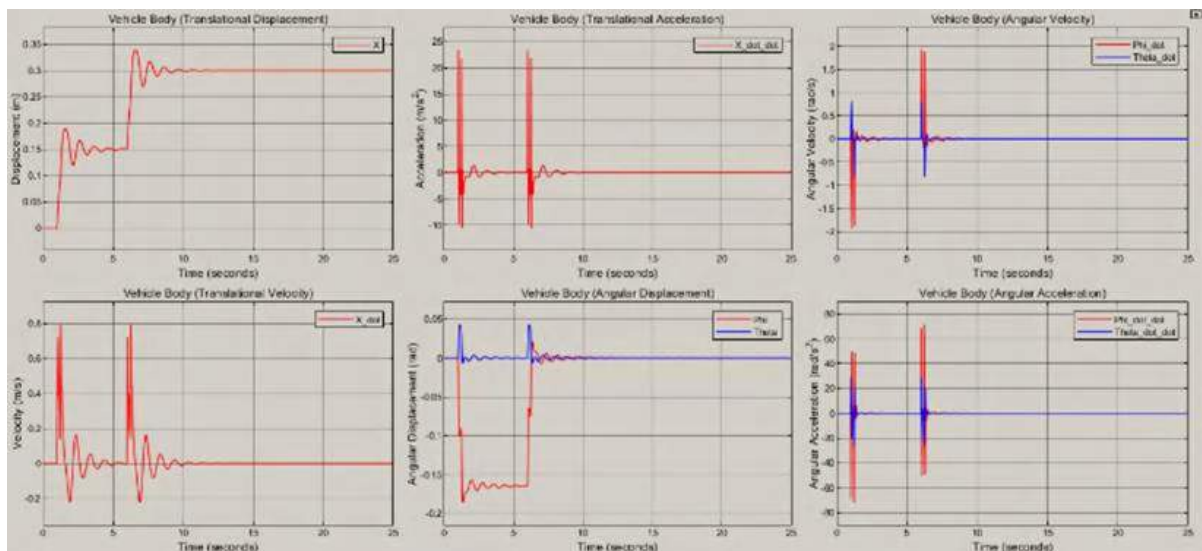


Figure 12 Road profiles



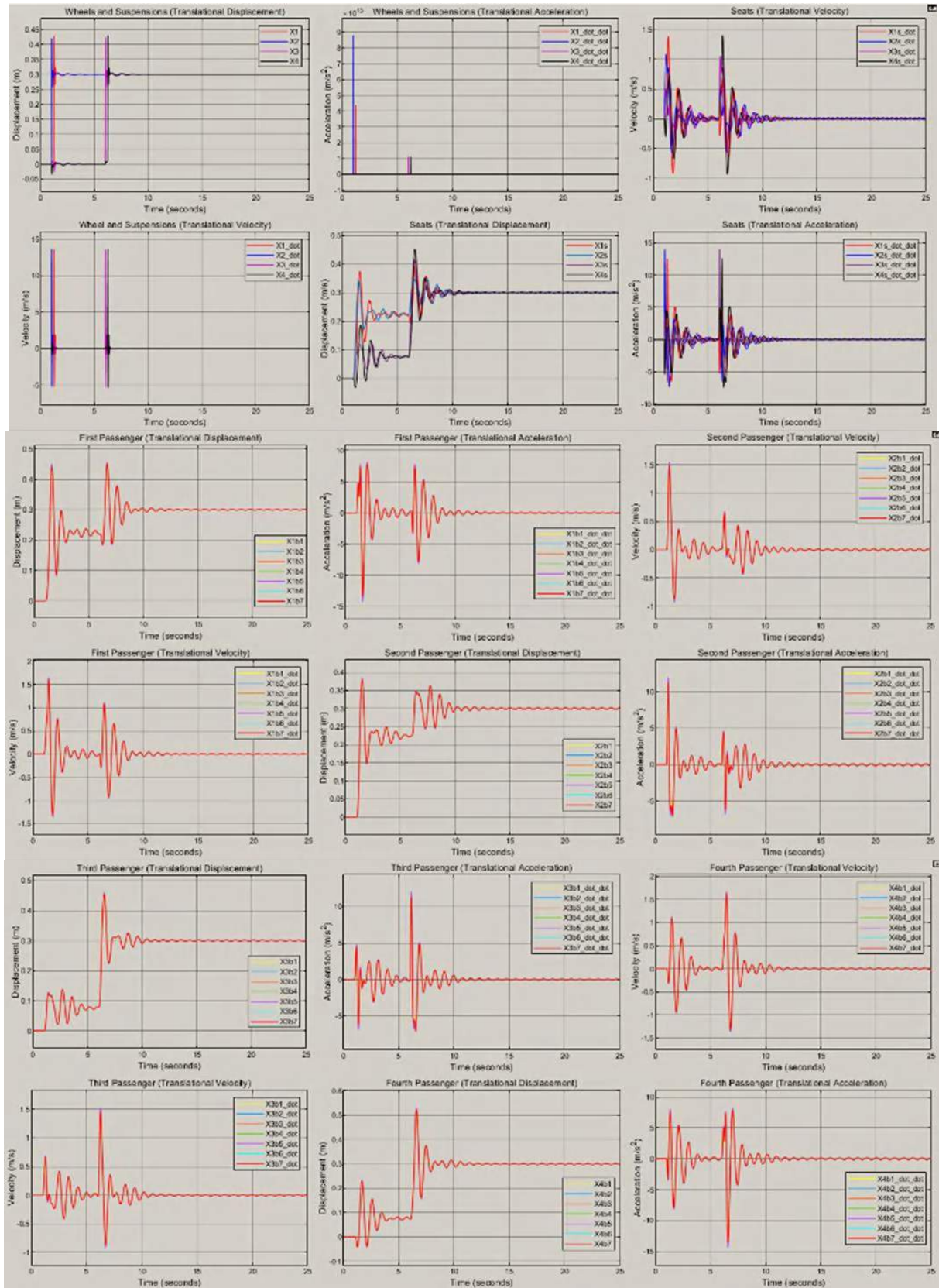


Figure 13 Outputs of Simulink model

4. Discussion and Conclusion

In this study, a mass-spring-damper model with 39 degrees of freedom of a passenger car was created. The model created consists of 4 parts: wheels and suspensions, vehicle body, seats and passengers. A human model with 7 degrees of freedom was used to model the passengers. First, a free body diagram was drawn for each mass and the force and moment balance was written. Equations of motion were obtained by applying force and moment balances. A Simulink model was created to numerically solve the set of motion equations consisting of 39 differential equations. As an application, the equations of motion for the step input road profiles in which the vehicle moves at a speed of 20 m/s are solved numerically using the Simulink model. The results obtained from the application were compared with the literature data and it was observed that the results were in harmony with the literature. Thanks to this study, the situations that affect passenger and driving comfort during vehicle design will be examined in a cheaper and more detailed way with less experimentation. In order for the mathematical model to give more realistic results, nonlinear spring and damper models should be used. In addition, rotational movements of only translational parts should be modeled.

References

- Abbas, W. &.-A. (2010). Optimization of Biodynamic Seated Human Models Using Genetic Algorithms. *Engineering 02*. doi:10.4236/eng.2010.29092
- Bowen L, V. J. (2019). Design and Potential Power Recovery of Two Types of Energy Harvesting Shock Absorbers. *Energies 12*. doi:https://doi.org/10.3390/en12244710
- Goga, V. &. (2012). Optimization of Vehicle Suspension Parameters with use of Evolutionary Computation. *Procedia Engineering 48*, 174-179.
- Hendrowati, W. (2012). Design, Modeling and Analysis of Implementing a Multilayer Piezoelectric Vibration Energy Harvesting Mechanism in the Vehicle Suspension. *Engineering 04*, 728-738.
- Meng, R. &. (2014). Multiobjective Game Method Based on Self-Adaptive Space Division of Design Variables and Its Application to Vehicle Suspension. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-13.
- Palanichamy, M. P. (1978). D.N. Minimization of the vertical vibrations sustained by a tractor operator, by provision of a standard-type tractor seat suspension. *Ann Biomed Eng 6*, 138-153. doi:https://doi.org/10.1007/BF02584540
- Rao, S. S. (1993). *Mechanical Vibrations*. Mass: Addison-Wesley.



Yapay Zeka'nın Kültür ve Sanatla Olan İlişkisi

Yusuf Uzun^{1*}, Beyzanur Akkuzu², Mehmet Kayırcı³

^{1*} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7061-8784), yuzun@erbakan.edu.tr

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6435-3874), beyzaakkuzu@gmail.com

³ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1178-5168), yuzun@erbakan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010691)

ATIF/REFERENCE: Uzun, Y., Akkuzu, B. & Kayırcı, M (2021). Yapay Zeka'nın Kültür ve Sanatla Olan İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 753-757.

Öz

Toplumun yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan ihtiyaçlarla beraber teknoloji ve sanat da gelişmeye başlamıştır. İnsanların yüzyıllar boyunca geçirmiş oldukları evrimler, yaşam biçimleri ve fikri akımları ile sanata bakış açıları da yenilikler meydana gelmiştir. Yapay zekâ ve sanat genel olarak yaşama, uygarlıkların düşünce dünyasının gelişmesine ve sanatsal yaratıya kazandırılacak yeni bakış açılarıyla yaklaşmayı gerektirmektedir. Teknolojinin getirdiği yeniliklerle birlikte gelişen yeni sanat anlayışı ve insan gibi düşünen sistemler yaratma fikri ile gelişen yapay zekâ, algoritmalar ve yapay sinir ağları ile birçok sanat çalışması üretmiştir. Sophia, Deniz Yılmaz, GAN, AICAN, AARON gibi birçok yapay zekâ çalışmaları mevcuttur ve hepsinin çalışma prensipleri kendilerine özgüdür. Yapay zekanın asıl amacı makinenin bu süreci işleyişi ve makinenin yaratıcılığını geliştirmeye odaklanmaktadır. Tabii bununla beraber yapay zekanın ürettiği çalışmaların insan taklidi olarak düşünülmesi ve sanatı tam olarak yansıtmadığı fikri ile yapay zekanın ürettiği çalışmaların eser olarak sayılıp sayılmayacağı ve yapay zekanın insanın önüne geçip geçmeyeceği yönünde de birçok tartışma söz konusudur.

Anahtar Kelimeler: Sanat, Toplum, Teknoloji, Yapay Zeka.

The Relationship of Artificial Intelligence to Culture and Art

Abstract

Technology and art have started to develop along with the needs necessary for the society to survive. There have also been innovations in the evolutions, lifestyles and intellectual movements that people have undergone over the centuries, and in their perspectives on art. Artificial intelligence and art generally require approaching life, the development of civilizations' world of thought, and artistic creation with new perspectives. He has produced many works of art with artificial intelligence, algorithms and artificial neural networks that have developed with the idea of creating systems that think like human and the new understanding of art that develops with the innovations brought by technology. There are many artificial intelligence studies such as Sophia, Deniz Yılmaz, GAN, AICAN, AARON and their working principles are unique to them. The main purpose of artificial intelligence focuses on the functioning of this process of the machine and improving the creativity of the machine. Of course, with the idea that the works produced by artificial intelligence are considered as human imitations and do not fully reflect the art, there are many debates about whether the works produced by artificial intelligence can be counted as works and whether artificial intelligence will overtake humans.

Keywords: Art, Society, Technology, Artificial Intelligence.

* Sorumlu Yazar: yuzun@erbakan.edu.tr

1. Giriş

İnsanoğlunun yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan temel gereksinim ihtiyacı üretim biçimidir. Üretim biçiminde kullanılan üretim güçleri (insan, makine gücü, ham madde, alet vb.) toplumun birbirleriyle olan iletişimini de belirlemiştir (Kozlu, 2009). Üretim ile başlayan bilim ve sanat birçok alanda gelişim göstermiştir. Platon ve Aristoteles'e göre sanatın nasıl oluştuğu yönündeki "yansıtmacı" anlayış 20. yüzyılın ortalarına kadar yeni görünümle ana ilke haline gelmiştir. İnsanların yaşamları boyunca geçirmiş oldukları evrimler, yaşam biçimleri ve sanata bakış açıları farklı görünümle gelişimini sürdürmüş ve teknolojinin getirdiği yeniliklerle birlikte gerçekliği işleme biçimini de geliştirmiştir (Artut,2019).

Teknolojik gelişmeler günümüz sanat alanında yeni teoriler geliştirme olgusuyla yapay zekâ, bugün fikri ürünler meydana getirebilir hale gelmiştir (Gözübüyük ve Ballı,2020). Yapay zekâ biliminin temelini insan zekâsı konu almaktadır. Bu açıdan yapay zekanın insan zekasını taklit etmesiyle bilişsel faaliyetlerin bilgisayarlar tarafından yapılabilir hale geldiği görülmektedir. Sanat alanında yapılan faaliyetlerde sanatçılar her ne kadar bir sanat eseri oluşturabilmek için kurgusal, imgesel bir dil kullanmak zorundaysa yapay zekada algoritmaları ve yapay sinir ağlarını birleştirerek kendini geliştirmek durumundadır (Akbulut,2020).

Hanson Robotics tarafından geliştirilen "insana en çok benzeyen robot" unvanına sahip olan Sophia'nın birçok özelliği bulunmaktadır. Bilimsel ve sanatsal yönden de geliştirilmiş olan Sophia, yaptığı tablolar ile bir robotunda bir sanat eseri ortaya çıkarabileceğini göstermiştir (Şekil 1).



Şekil 1 Robot Sophia ve Yaptığı Çalışmalar (Resim 1)

Teknolojide yaşanan gelişmelerin hızı düşünüldüğünde sanat alanında yapılan çalışmalara yenileri eklenerek bu çalışmaların giderek artacağını söylemek mümkündür (Gözübüyük, 2021). Müzik, roman, şiir ve senaryo yazmak gibi birçok alanda da yapay zekâ kendini göstermiştir (Ballı, 2020).

2. GAN ve CAN'ın Çalışma Mantığı

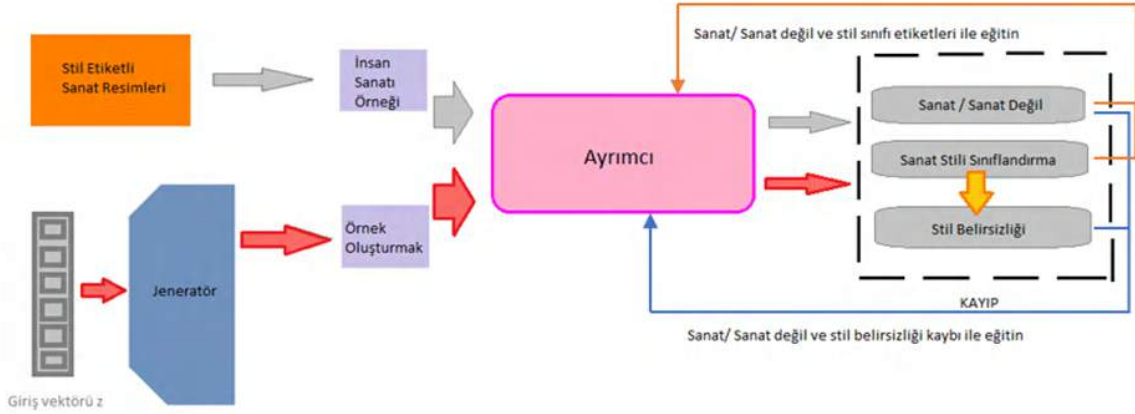
Sanatın bir makineye nasıl öğretildiğini anlamak için GAN (Generative Adversarial Network) ve CAN (Creative Adversarial Network) olarak adlandırılan yapay zekâ algoritmalarını incelemek iyi olacaktır. GAN'da iki tane yapay sinir ağı mevcuttur ve ikisinin de amaçları farklıdır. İlki sahte veri üretmeye çalışmaktadır, diğeri ise sinir ağının ürettiği veri ile gerçek veriyi karşılaştırıp üretilen ürünün sahte olup olmadığını ayırt etmeye çalışmaktadır. Ayırt edebilen sinir ağı insan tarafından çizilmiş resimleri görebilen ve üreticiden aldığı resimlerle gerçek resmi kıyaslayarak farklılıkları listelemektedir. Geri bildirimler olarak çizimler düzeltilebiliyor ve tekrar tekrar bir karşılaştırma yapılmaktadır. Bu sayede insanın ürettiği sanat eserine benzer resimler elde etmiş oluyor. Ancak GAN insanı daha çok taklit ettiği düşüncesiyle çok fazla tercih edilmemektedir (Ünal, 2018).

CAN'da ise makine, iki farklı durum arasında eğitilir. Birinde makineye gösterilen sanatın estetiğini takip eder sanat dağılımından sapmayı en aza indirmek için, diğesinde ise önceden oluşmuş olan bir stili taklit ederse makine cezalandırılır ve bu sayede stil belirsizliği en üst düzeye çıkarılmış olur. CAN tarafından çizilmiş ve en çok beğenilen tablolar Şekil 2'de görülmektedir [Mazzone ve Elgammal, 2019].



Şekil 1 AICAN Tarafından Yapılan Çalışmalar (AICAN)

CAN'ın oluşmasındaki asıl amaç mevcut akımlardan kopmadan ve onları olduğu gibi taklit etmeden yeni bir sanatsal çalışma ortaya çıkarmaktır. CAN'ın gelişiminde yaklaşık 80.000'den fazla resim kullanılmıştır. Resimlerin hangi akımlara ait oldukları ise (empresyonist, kübist vs.) işaretlenerek ayırt edici sinir ağında eğitilmiştir. GAN'da ki gibi üretici sinir ağı ile yeni çizimler elde edildi ve geri bildirimlere göre çizimlerini değiştirdi. CAN'ın GAN'dan farklı olarak hedefi yapılan stillerden farklı çalışmalar üretmek ve ana sanat akımlarının da dışına çıkmamak. Şekil 3'de, jeneratörün, biri sanatın stil sınıflarından sapmalarını ölçen, diğesinde stil belirsizliğini ölçen iki sinyal alan CAN ağının bir blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2 Ahmed Elgammal Tarafından Oluşturulan CAN Çalışma Mantığı Blok Şeması (Mazzone ve Elgammal, 2019)

3. Yapay Zekâ Tarafından Üretilen Sanat Çalışmaları

1956 yılında John McCarthy tarafından “insan gibi düşünen” sistemler yaratma fikri ile “yapay zekâ” kavramı ortaya çıktı (Ünal, 2018). McCarty yapay zekâyı, “zeki makineler ve bilgisayar programları yapma bilimi” şeklinde tanımlamıştır (Gözübüyük, 2021). O günden bugüne kadar birçok bilim adamını ve araştırmacıyı kendine çekmeyi başarmıştır.

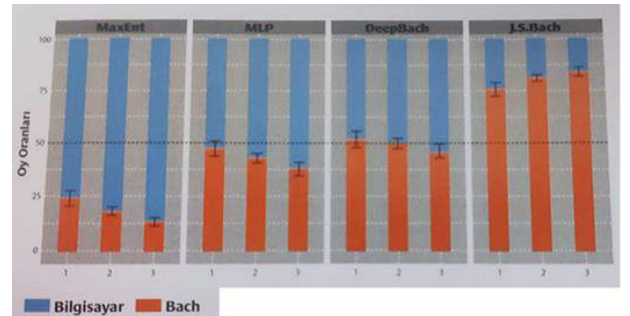
Yapay zekâyı üç başlık altında kategorize edebilmek mümkündür: Bir amaç için özelleşmiş yapay zekâ (Sınırlı YZ), öğretilenler ile birlikte çok sayıda görevi yerine getirebilen ve insana özgü kabiliyetlere sahip (güçlü) yapay zekâ (Genel YZ), insan zekasından üstün ve en yetenekli insan zekasından daha gelişmiş yapay zekâ (Süper YZ) olarak sınıflara ayrılabilir [Artut, Ünal]. İnsan gibi davranabilme yeteneğine sahip güçlü yapay zekâyı halen uzağız. Ancak günümüzde sınırlı yapay zekâ uygulamaları bile bizi birçok alanda geçebilecek hale geldi. Örneğin Google mühendislerinden Alexander Mordvintsev tarafından geliştirilen Deep Dream’in amacı; insan gibi düşünebilmek ve karmaşık örüntülerden yeni eserler üretebilen bir sistem (Aslan, 2019). Deep Dream, resimlerde ne gördüğünü ayırt etmek üzere eğitilmiş olan derin sinir ağları ile resimde ne görüldüğünden çok “neye daha çok benziyorsa ona benzet” mantığı ile çalışmaktadır. Yani bunu bizim günlük hayatımızda bulutlara bakıp da onları bir şeylere benzetmemiz gibi düşünülebilir. Google’ın derin sinir ağları da daha çok neleri ayırt etmek için eğitildi ise (genelde hayvan görselleri) kendilerine gösterilen resimleri de onlara benzetmeye çalışmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Deep Dream “Soyut Sanatın Yeni Bir Biçimi” (Dijital Baskı)

Bir diğer sanat alanı olan müzik alanında da yapay zekânın etkileri görülmektedir. Minimum insan müdahalesi ile müzik yaratma fikri Antik Yunan’dan beridir çeşitli yöntemlerle geliştirilmeye çalışılmıştır. Plato, Pisagor, John Cage, Lejaren Hiller ve daha birçok isim bu çalışmalara katkıları olan kişiler olarak sayılabilir. Son yıllarda ise bu işi yapay zekâ devralmış gözüküyor.

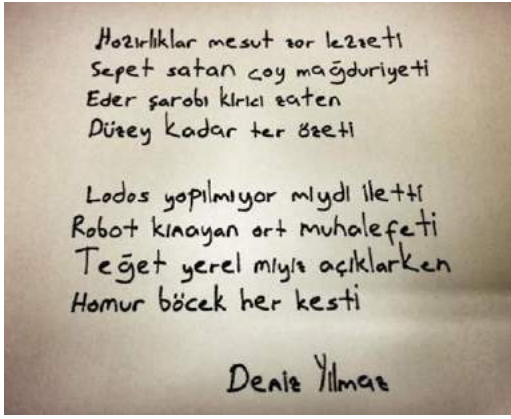
Eşsiz besteleri ve armonideki teknik yetkinlikleri ile barok müziğinin önde gelen isimlerinden olan Johann Sebastian Bach’ın 300’den fazla polifonik ilahi bestesi vardır. Bach’ın kendine has geliştirdiği mantıksal yapı, yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Sony Bilgisayar Laboratuvarında yapılan bir çalışmada Bach’ın besteleri DeepBach adını verdikleri algoritmanın eğitim ve test işlemlerinde kullanılmıştır. Algoritmanın görevi; Bach’ın eserlerinde kullandığı soprano melodileri algoritmaya verildiğinde Bach tarzında armoniler oluşturmaktır. Bu çalışmanın sonucunda 1200’den fazla katılımcıdan oluşmaktadır. Bu katılımcıların %25’i profesyonel müzisyen ve müzik öğrencilerinden oluşan bir dinleti gerçekleştirilmiştir. Bu dinletide dinledikleri bestenin Bach’a mı yoksa bilgisayar kurgusu mu olduğunu düşündükleri soruldu. Farklı yapay zekâ algoritmalarının da ürettiği besteler ile bir karşılaştırma yapıldı ve katılımcıların çoğu DeepBach’ın ürettiği besteleri, Bach’ın besteleri sandı ve en yüksek puanı DeepBach aldı (Şekil 5) (Ünal, 2018).



Şekil 5. “Bach mı Bilgisayar Mı?” 1: Hobi olarak müzik dinleyenler, 2: Amatör müzisyenleri, 3: Öğrenciler ve Profesyonel Müzisyenler (Ünal, 2018)

Yapay Zekâ, mantık, akıl yürütme, problem çözme ve yaratıcılık gibi yeteneklerin tümünün bilişim bir sistemi tarafından yerine getirilebilmesidir. Bahsedilen yeteneklerin başarabilmesi için mantık, olasılık, istatistik gibi matematik öğeleri kullanılmaktayken bir yandan da algılama, yorumlama, öğrenme gibi bilişsel disiplinlerden de faydalanılmaktadır.

Bilişsel disiplinlerin kullanıldığı ve sanatın bir farklı mecrası olan edebiyat alanında da yapay zekâ başarılı bir çalışmaya imza atmıştır. Türkiye’de Bager Akbay tarafından yaratılmış olan “Deniz Yılmaz”, 2 eksenli hareket edebilen bir robot kola sahiptir. Bununla birlikte 12.000 şiirin data seti üzerinden Markov Zincirleri kullanılmıştır. Akbay’ın kullandığı makine öğrenmesi yöntemi ile Deniz Yılmaz’ın şiirlerinde kelime, uyak, hece ölçüsü dizilişleri gelişimini sürdürmüş, şiirleri mantıklı ve anlaşılır bir şekilde gelişmeye başlamıştır (Şekil 6). Bu gelişmelerle birlikte Deniz Yılmaz’ın ürettiği şiirlerin bir bütün haline gelebilmesi için “Diğerleri Gibi” adlı şiir kitabı çıkarılmıştır (Ballı, 2020).



Şekil 6. Deniz Yılmaz tarafından yazılan şiir örneği (Ballı, 2020)

4. Yapay Zekâ'nın Ürettiği Çalışmalar Sanat Eseri Sayılır Mı?

Toplumun bilim ve sanattan beklentileri farklılık gösterdiği gibi ortaya koymuş oldukları sonuçlara ve ürünlere gösterdikleri tepkilerde de farklılıklar görülmektedir (Dikmen, 2012). Geliştirilen her çalışma ile beraber yeni tartışma konuları olan etik, taklit ve sahiplik kavramları da dile gelmiştir.

İlk olarak belirtilebilir ki; bir yapay zekanın temelinde insan müdahalesi bulunmaktadır, ancak yapay zekanın ürettiği tüm sonuçların, insan müdahalesi ile elde edildiğini söyleyemeyiz. Tabii bununla beraber gelişen teknolojiye halen insan müdahalesinin hiç olmadığı bir yapay zekâ sisteminden bahsetmek de güçtür. Nitekim algoritmalarla çalışan bilgisayarlara verilen girdi ile çıktı arasındaki bağı matematiksel kesinlikte olduğunu biliyoruz. Bu nedenle yapay zekaya resim çizmesi ya da şiir yazması öğretildiğinde onun geliştiriciye ne gibi bir çıktı vereceğini önceden tahmin etmesinin kesin bir imkânı yoktur.

“Yapay zekanın ürettiği ürünler bir eser sayılmalı mıdır?” sorusunun cevabında hukuk politikalarında yapılacak tercihlere de bağlıdır. Örneğin Amerikan Telif Hakları Ofisi Uygulamalarının 306. Paragrafının birinci cümlesinde insan müdahalesi olmadan yapay zekanın meydana getirdiği ürünlerin eser olarak kabul edilemeyeceği açıkça belirtilmiştir. Diğer taraftan İngiliz Telif Hakkı, Tasarımlar ve Patentler Kanunu’na bakacak olursak bu kanunun 178. maddesine göre bilgisayar tarafından üretilmiş eser tanımı yapılmıştır (Gözübüyük, 2021).

Tahmin edildiği üzere makine üretiminin, insan eserinin önüne geçemeyeceğini, yapay zekanın yarattığı çalışmaların sanat eseri sayılmayacağını savunan sanatçı ve sanat tarihçileri vardır. Bu savunmanın en başında Marcel Duchamp, Andy Warhol ve Eduard Manet gelmektedir. Böyle düşünmelerine neden olan şey sanatın tanımlarının ve yaratımının sanatçıya ait olduğu görüşüdür. Çünkü sanat manevi bir anlayış ve düşüncelerle biçimlenen sosyal bir gerçekliktir. Bir duyguyu, tasarımı ya da bir güzelliği; renk, ses, ışık, hatta zaman ve mekân ilişkisi kurarak, yeni yaratımlarla ortaya çıkaran üstün bir beceridir (Soysaldı, 2018).

5. Sonuçlar

Bilim ve sanat arasındaki ilişkiyi Arnold Hauser şu sözlerle açıklamaktadır: Sanat ne bilim olarak doğar ne de bilime dönüşerek son bulur. Sanat, yalnızca yaşamın zorluklarından doğar ve insan varoluşuyla yönelen sonsuz yolda bilimle birlikte ilerler. Temelinde bilim olan teknoloji de hem sanatçının yaratıcı gücünün hem de halkın evrene, yeryüzüne yaklaşımının artırılmasına yönelik olarak sanat ile birleşmektedir (Yıldırım, 2018).

Bir taraftan yeni şeyler içerisinde bulunma isteği, diğer taraftan ise bu yeniliğin toplum üzerinde bıraktığı olumsuzlukları hissetmek insana özgü bir durumdur. Ancak teknolojinin geldiği son noktada ve gelecekte olabilecekler düşünüldüğünde; kaçınılmaz olarak insan-makine ilişkisi sanat alanında yapılan teknolojik yeniliklerle birlikte daha da gelişecektir. Bugün üretilen çalışmalara bakıldığında teknolojinin sunduğu yenilikler ve deneyimler sayesinde farklı disiplinler bir arada kullanılmaktadır. Geniş bir alana sahip olan yapay zekâ çalışmaları 21. yüzyılın sanat anlayışını etkilemiş, yeni bir anlatı oluşturmuş ve farklı görünümle hayatımıza girmiştir (Toprak, 2020).

Sonuç olarak yapay zekâ tarafından üretilen sanat, bilimsel araştırmalar sonucunda elde edilen bilgiler ile sanatsal çalışmalar kültür endüstrisine dönüşmüştür. Yapay zekâ ve sanat genel olarak yaşama, uygarlıkların düşünce dünyasının gelişmesine ve özelden eleştirel teorilere, kültürel teorilere ve sanatsal yaratıya kazandırılacak yeni bakış açılarıyla yaklaşmayı gerektirmektedir.

Kaynakça

- Akbulut, D. (2020). Sanatın Ölümü Üzerine: Yanlış Cenazeye Ağıt, Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi, 1 (47), 91-107
- Artut, S. (2019). Yapay Zekâ Olgusunun Güncel Sanat Çalışmalarındaki Açılımları, İnsan ve İnsan, 6 (22), 767-783
- Aslan, E. (2019). Yapay Zekâ Resimleri Ve Sanatın Başkalaşan Mecrası Üzerine, Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi, 231-242
- AICAN, Erişim adresi: <https://its-interesting.com/tag/ahmed-elgammal/>
- Ballı, Ö. (2020). Yapay Zekâ Ve Sanat Uygulamaları Üzerine Güncel Bir Değerlendirme, Sanat ve Tasarım Dergisi Dijital Baskı, Erişim adresi: <https://deepdreamgenerator.com/>
- Dikmen, B. (2012). Değişen Dünyada Kültür, Sanat Ve Bilim İlişkisi, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 1 (1), 137-144
- Gözübüyük, B. (2021). Yapay Zekanın Meydana Getirdiği Fikri Ürünlere İlişkin 5846 Sayılı Fikir Ve Sanat Eserleri

- Kanunundaki Sorunlar Ve Çözüm Önerileri , KHM, 1(1), 54-81
- Kozlu, D. (2009). Teknolojik Gelişmelerin Toplum Ve Sanata Yansımaları, Art-e Sanat Dergisi 2, 1-14
- Mazzone, M. & Elgammal, A. (2019). Art, Creativity and The Potential of Artificial Intelligence, Arts, 8(1), 26
- Soysaldı, A. (2018). Kültür, Sanat Ve Beşeriyet İlişkisi, Sanat ve Tasarım Dergisi, 305-315
- Resim 1, Erişim adresi:
https://www.ntv.com.tr/galeri/sanat/robot-sophianin-yaptigi-tablo-688-bin-888-dolara-satildi,5tGiNdkuVEGqzflBPHnrGA/4H_oLkkW5UOFj8h5HPszvw
- Toprak, A. (2020). Yapay Zekâ Algoritmalarının Dijital Enstalasyona Dönüşmesi, Ege Üniversitesi İletişim Fakültesi Yeni Düşünceler Hakemli E-Dergisi, 47-59
- Ünal, E. (2018). Yapay Zekadan Sanatçıya, Tübitak Bilim Ve Teknik Dergisi, s:58-66.
- Yıldırım, M. (2019). Dijital Sanat ve Kolaj, Ekev Akademi Dergisi, 23(80), 319-338



Investigation of Mechanical Properties of Si₃N₄ Reinforced Composites Produced from Aluminum Wasteⁱ

Burak Öztop^{1*}, Mevlüt Gürbüz²

^{1*} Amasya University, Merzifon Vocational School, Amasya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3947-9103), burak.oztop@amasya.edu.tr

² Ondokuz Mayıs University, Department of Mechanical Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2365-5918), mgakademik@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010738)

ATIF/REFERENCE: Öztop, B., Gürbüz, M. (2021). Investigation of Mechanical Properties of Si₃N₄ Reinforced Composites Produced from Aluminum Waste. *European Journal of Science and Technology*, (28), 758-765.

Abstract

In this study, first of all, waste aluminum beverage cans were melted and poured into molds to obtain matrix material in the form of ingots. Stir casting process was used for composite material production. 0.5%, 0.75% and 1% by weight Si₃N₄ reinforcement was added to the matrix material. The effects of reinforcement ratios on the density, hardness, tensile strength, impact strength and microstructure of composite materials were investigated. In Si₃N₄ reinforced composites, tensile strength increased from 54,5 MPa to 105,17 MPa, impact strength increased from 4,94 J to 13,18 J, and hardness increased from 70 HV to 87,9 HV depending on the increased reinforcement ratio. Also, in the density measurements, density and porosity ratio increased with the increase of the reinforcement ratio. From the scanning electron microscope (SEM) images of the produced composites, it was determined that the particle distribution increased with the increase in the reinforcement ratio and the reinforcement material was homogeneously dispersed.

Keywords: Waste Aluminum, Graphene, Stir Casting, Aluminum Matrix Composite, Mechanical Property, Microstructure.

Alüminyum Atıktan Üretilmiş Si₃N₄ Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada öncelikle, atık alüminyum içecek kutuları ergitilip kalıplara dökülerek külçe halinde matris malzemesi elde edilmiştir. Kompozit malzeme üretimi için karıştırma döküm yöntemi kullanılmıştır. Matris malzemesine ağırlıkça % 0.5, % 0.75 ve % 1 oranlarında Si₃N₄ takviyesi yapılmıştır. Takviye oranlarının kompozit malzemelerin yoğunluk, sertlik, çekme dayanımı, darbe dayanımı ve mikroyapısına etkisi incelenmiştir. Si₃N₄ takviyeli kompozitlerde, artan takviye oranına bağlı olarak, çekme mukavemeti 54,5 MPa'dan 105,17 MPa'ya, darbe mukavemeti 4,94 J'den 13,18 J'ye ve sertlik 70 HV'den 87,9 HV'ye yükselmiştir. Yapılan yoğunluk ölçümlerinde takviye oranının artmasıyla yoğunluğun ve gözenek oranının arttığı görülmüştür. Üretilen kompozitlerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinden, takviye oranının artmasıyla partikül dağılımının arttığı ve takviye malzemesinin homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık Alüminyum, Grafen, Karıştırma Döküm, Alüminyum Matrisli Kompozit, Mekanik Özellik, Mikroyapı.

* Corresponding Author: burak.oztop@amasya.edu.tr

1. Introduction

The need for advanced technology materials in important fields such as defence, aerospace, automotive, and maritime is increasing. Single component materials do not meet the needs of advanced engineering applications such as resistance to high temperatures associated with the melting point of the material, high strength, high elastic modulus, high fracture toughness, high fatigue strength, high wear resistance and low density. Therefore, the need for composite materials with superior properties is increasing day by day (Özkök, 2004; Kılıç, 2008; Nazik, 2013).

Metal matrix composite (MMC) materials have become an important engineering material by combining the ductility and toughness of metal materials and the high strength properties of ceramic materials. Aluminum (Al) and its alloys are widely used in the production of MMC as matrix materials due to their easy formability, low density, high electrical and thermal conductivity. As reinforcement material, silicon carbide (SiC), silicon nitride (Si_3N_4), aluminum oxide (Al_2O_3) etc. ceramic particles are used. Si_3N_4 , one of these ceramics, has become an important reinforcement material due to its properties such as high hardness, strength, fatigue life, wear resistance, oxidation resistance and corrosion resistance, high thermal shock resistance due to its low coefficient of thermal expansion (Özkök, 2004; Kılıç, 2008; Kalemtaş, 2014).

Aluminum matrix composites have superior properties such as high modulus of elasticity, high strength, high fatigue resistance, high abrasion resistance, high rigidity, stability at high temperature, high strength to weight ratio, low coefficient of thermal expansion and low density. Due to these properties, the production of aluminum matrix composites and their use in the automotive, aerospace and aviation industries are increasing. Generally, aluminum matrix composites are produced by powder metallurgy or liquid phase methods. However, they are produced more easily via the liquid phase as particle reinforced. One of the most used methods in liquid phase production techniques is the stir casting method because it is both a low cost and a simple method (Hashim et al., 1999; Sur et al., 2005; Surappa, 2003).

The recycling of aluminum, which has been used in many fields, especially in construction, aviation, space and transportation in recent years, is important for the protection of the environment as it will reduce the use of both natural resources and energy resources (Pulat et al., 2014). Beverage cans stand out as both one of the areas where aluminum is most widely used and the cornerstone of the aluminum recycling market (Ediz, 2011; İzgi, 2011). In line with this information, it is predicted that the commercial use of aluminum matrix composite materials will become widespread by reducing the production costs by using waste aluminum beverage cans, which are industrially reusable, as matrix material in the production of composite materials.

Gui et al. (2000), in their studies involving the production of SiC reinforced Al-Si matrix composite materials by casting, applied the semi-solid mixing process after the liquid mixing process. They stated that the tensile strength of reinforced composite materials ((15%, 20% by volume) increased by 15% and 26%, yield strength by 40% and 54%, and modulus of elasticity by 30% and 40%, respectively, compared to the unreinforced matrix material. Kok (2005), produced composite material by reinforcing Al_2O_3 particles in different sizes (16, 32, 66 μm) and different percentage weight ratios (10%, 20%, 30%) to 2024 aluminum alloy by applying vortex method and then

pressing under pressure. Density measurements have shown that the samples contain very little porosity. He found that the amount of porosity increased with increasing percent by weight reinforcement ratio and decreasing particle size. The hardness and tensile strength of the composites increased with increasing particle weight percentage and decreasing particle size. Singla et al. (2009), used a stir casting technique in which two-stage mixing is applied to develop MMK with aluminum-based SiC particles and to ensure homogeneous distribution of ceramic material in the matrix during production. The alloy was mixed by hand while it was in a semi-solid state, and then it was heated until it became completely liquid and was mixed with a mechanical mixer. The experiments were carried out by changing the SiC reinforcement ratio to 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% by weight. It was observed that the hardness and impact strength increased as the weight percentage of SiC increased. The best results were obtained at a reinforce rate of 25% by weight. With the increase of this reinforcement ratio, hardness and impact resistance values decreased due to aggregation of SiC particles. Bajaj (2011), has produced composite materials with SiC, Al_2O_3 and SiC+ Al_2O_3 reinforced (2.5%, 5, 7.5, 10 wt%), aluminum casting alloy (LM6) matrix using the stir casting method. The hardness, tensile and impact tests and mechanical properties of the obtained samples were investigated. It was determined that the hardness, tensile strength and impact strength increased with the increase in the reinforcement ratio. The highest increase in mechanical properties was determined in the composites obtained by adding SiC and Al_2O_3 reinforcement elements together. Sujana et al. (2012), have investigated the physical and mechanical properties of SiC and Al_2O_3 particle reinforced aluminum matrix composites. Composite materials were produced by the stir casting method by adding 5, 10, 15% Al_2O_3 by weight and SiC at the same proportions to Al356 alloy. The results showed that composite materials exhibit improved physical and mechanical properties such as high tensile strength, high impact strength, high stiffness and low coefficient of thermal expansion. Singh et al. (2013), have produced aluminum matrix composites using the mixed casting method. The effects on hardness, impact strength and tensile strength of input process parameters such as Al_2O_3 particle size (75, 105, 150 μm), weight percent Al_2O_3 (3, 6, 9%) and mixing time (15, 20, 25 min) were investigated. All these mechanical properties increased with the mixing time and the increase in the weight percent of the reinforcement element and the decrease in the reinforcement particle size. Hindi et al. (2015), have produced composite material by reinforcing 2, 4 and 6 wt% SiC particles to Al 6063 aluminum alloy by using stir casting method. It was determined that with the increase of SiC reinforcement, ductility decreased, while hardness and tensile strength increased. It was observed that the impact strength initially increased and then decreased with increasing SiC reinforcement. Sharma et al. (2015), have investigated the mechanical properties of aluminum matrix composites produced by conventional stir casting by adding Si_3N_4 particles at various weight percentages (3, 6, 9, 12) to the AA6082-T6 alloy. Mechanical properties such as tensile strength and hardness improved as the weight percentage of Si_3N_4 particles in the aluminum matrix increased. Density and porosity showed an increasing trend. Kumar et al. (2015), have produced Si_3N_4 , AlN, ZrB_2 reinforced Al2618 matrix composites at 0, 2, 4, 6, 8 wt% ratios by stir casting method. They determined that the hardness, tensile strength, compressive strength and corrosion resistance of the composites increased with increasing reinforcement ratio.

In this study, the effects of Si₃N₄ reinforcement at different reinforcement ratios (0.5, 0.75, 1 wt%) on the density, hardness, tensile strength, impact strength and microstructure of composites produced from waste aluminum by stir casting method were investigated.

2. Material and Method

2.1. Matrix and Reinforcement Material

In this study, waste aluminum beverage cans were used as matrix material instead of pure aluminum or commercial aluminum alloys used in previous studies. Si₃N₄ powders were used as reinforcement material. Si₃N₄ has been preferred especially because of its superior mechanical properties such as high strength, hardness, wear resistance and fracture toughness. Since the Si₃N₄ powder particle size used is 0.5-0.8 μm on average, it was decided to use low reinforcement ratios (0.5, 0.75, 1 wt%) considering the problems such as agglomeration of the powder and inability to ensure the homogeneity of the mixture in the reinforcements to be made at high rates.

2.2. Production of Composite Material

First of all, waste aluminum beverage cans were sequentially thrown into the melting pot at a temperature of approximately 1000 °C and the paint layer on them was burned. Aluminum ingots with an average weight of 170 g were obtained by melting 16 beverage cans for each matrix sample. Electric melting furnace with mixing system has been designed and manufactured for the production of composite materials. An electric furnace that can be adjusted of up to 900 °C temperature was obtained by connecting a 1.5 kW single louvered ceramic plate resistance on the outer crucible made of stainless steel material. A single module control device and M12 K-type thermocouple with a standard 8 mm union were used to control the temperature inside the furnace. Also, another crucible made of stainless steel was placed inside the furnace. This crucible is designed as both a melting and casting crucible. The mixing shaft used to perform the mixing process is made of stainless steel material and has four wings with a diameter of 40 mm at one end. In order to mix the reinforcement materials into the matrix material, a desktop mechanical mixer with an adjustable speed (200-3000 rpm) was used.

Si₃N₄ particles were oxidized in the heat treatment furnace at 1100 °C for 5 hours to increase their wettability. Si₃N₄ particles were prepared by weighing them according to the determined by weight percent reinforcement ratios. The matrix material in the crucible was melted by increasing the temperature of the melting furnace to 700 °C. During the addition of reinforcement and stirring process, the temperature was reduced to between 630-650 °C to facilitate the wettability of the reinforcement material and to form the matrix-reinforcement interface. The reinforcement material, which was prepared by weighing for each ratio, was added to the matrix material in three equal amounts. After the first and second parts of the reinforcement material were added, the mixture was stirred at 400 rpm for 30 seconds. After the third part of the reinforcement material was added, the mixing process was applied at 400 rpm for 5 minutes. The temperature was increased to 700 ± 10 °C and the mixture was mixed at the same speed for 1 minute, and homogenization was made. The mixture was kept at this temperature for 10 minutes and the oxide film formed on the surface of the liquid melt was removed just before casting. Immediately after, the mixture was poured into a preheated (450-500 °C) metal mold, and the composite material was left in the

mold for a while, then removed from the mold and allowed to cool at room temperature. By applying this method, by adding 0.5%, 0.75% and 1% by weight Si₃N₄ to the aluminum matrix, 15 pieces of composite materials were produced, 5 for each ratio. Composite materials produced were coded as shown in Table 1 in order not to mix the samples during the application of the tests and to record the test results correctly.

Table 1. Codes of Si₃N₄ reinforced composite materials

Material	Code
Al	AL
Al - % 0.5 Si ₃ N ₄	ALSN05
Al - % 0.75 Si ₃ N ₄	ALSN075
Al - % 1 Si ₃ N ₄	ALSN1

2.3. Hardness Test

Hardness measurements were made to determine the hardness values of the unreinforced matrix material and composite materials and to determine the hardness changes that occur with increasing the reinforcement ratios. Hardness measurements were carried out under 1.96 N (200 g) load for 20 seconds on a TMTECK brand HV-1000B type hardness measuring device using vickers hardness measurement method. Measurements were made 5 times for each sample and the hardness values were determined by taking the average of the measured values.

2.4. Tensile Test

Tensile test was applied to evaluate the mechanical behavior of Si₃N₄ reinforced composite materials and non-reinforced matrix material and to determine the changes in tensile strengths with increasing reinforcement ratios. A total of 12 tensile test specimens were prepared, three of each of the unreinforced matrix and composite materials. Tensile tests were carried out on a 10 ton capacity Mares brand tensile testing device. The tensile test was performed at a constant speed of 5 mm/min for all samples. The tensile strength values of both the unreinforced matrix and the composite materials were determined by taking the average of the measured values for each material type.

2.5. Impact Test

This test was applied to determine the amount of energy required for the fracture of unreinforced matrix and Si₃N₄ reinforced composites under dynamic stress and to determine the changes in impact strength depending on the increasing ratio of reinforcement by weight. Three test specimens were prepared from each of the non-reinforced matrix and composite materials. The average impact energy was calculated by taking the average of 3 test results for each material in ALŞA brand ZBC 2000 model charpy impact test device.

2.6. Density Measurement and Porosity Ratio

Experimental densities (ρ_D) of Si₃N₄ reinforced composite materials and non-reinforced matrix material were determined using Archimedes method. The saturated mass (m_D), suspended mass (m_A) and post-drying dry mass (m_K) of the samples were measured, respectively. The experimental densities of the samples were calculated using Equation (1).

$$\rho_D = [m_K / (m_D - m_A)] \times \rho_{SU} \quad (1)$$

Then, the theoretical densities (ρ_T) of all materials were determined by using Equation (2) according to the mixtures rule. Porosity ratios were calculated using Equation (3).

$$\rho_T = [(density\ of\ matrix\ \times\ percent\ matrix\ weight\ ratio) + (density\ of\ reinforcement\ material\ \times\ percent\ reinforcement\ weight\ ratio)] \tag{2}$$

$$\% \text{ porosity} = (\rho_T - \rho_D / \rho_T) \times 100 \tag{3}$$

2.7. Microstructure Analysis

X-ray diffraction (XRD) analyzes of composite materials and Si_3N_4 powders used in composite production were performed with Rigaku Smartlab brand X-ray diffraction device. EDS equipped

Jeol JSM 7001F type scanning electron microscope (SEM) was used for the microstructure examinations performed on the fractured surfaces of the samples broken after the impact test. In addition, SEM analyzes of the reinforcement material used in the production of composites were made.

3. Results and Discussion

3.1. Hardness

The measured hardness values of unreinforced matrix material and Si_3N_4 reinforced composite materials are given in Table 2. In addition, the changes in the hardness values of the materials according to the reinforcement ratio are given graphically in Figure 1.

Table 2. Hardness test results

Material	Hardness (HV) 1st	Hardness (HV) 2nd	Hardness (HV) 3rd	Hardness (HV) 4th	Hardness (HV) 5th	Average Hardness (HV)
AL	70,15	68,5	71,16	69,72	70,47	70
ALSN05	81,48	77,61	78,58	80,53	81,3	79,9
ALSN075	84,37	83,61	85,4	83,85	85,07	84,46
ALSN1	88,78	87,18	86,27	89,58	87,69	87,9

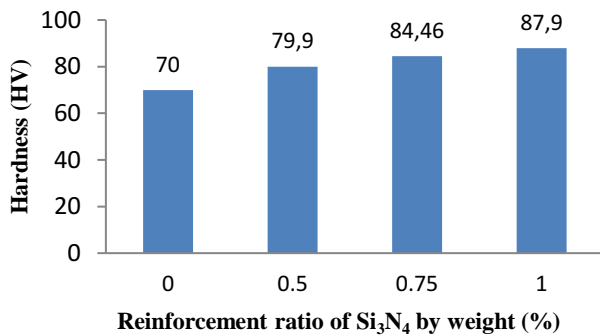


Figure 1. Change of hardness of the materials with Si_3N_4 percent weight ratio

In the literature review, it was determined that the hardness of the composite materials increased with the increase in the reinforcement ratio (Bajaj, 2011; Hindi et al., 2015; Kok, 2005; Kumar et al., 2015; Sharma et al., 2015; Singh et al., 2013, Singla et al., 2009; Sujan et al., 2012). The hardness of composite materials increased from 70 HV to 87.9 HV with the increase of Si_3N_4 weight percent. It has been observed that this result is consistent with the information in the literature.

3.2. Tensile Strength

The tensile strength values calculated by taking the average of the values obtained as a result of the tensile tests are given in Table 3. The graph showing the change of tensile strength values of materials according to reinforcement ratio is given in Figure 2.

Material	Tensile Strength (MPa) 1st test	Tensile Strength (MPa) 2nd test	Tensile Strength (MPa) 3rd test	Average Tensile Strength (MPa)
AL	54,29	55,11	54,1	54,5
ALSN05	81,85	80,14	80,56	80,85
ALSN075	92,49	93,53	93,28	93,1
ALSN1	105,1	104,89	105,52	105,17

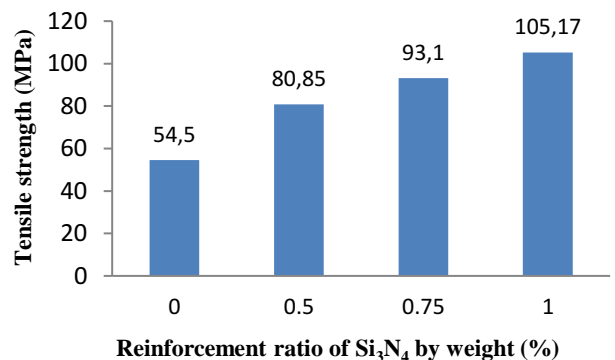


Figure 2. Change of tensile strength with Si_3N_4 percent weight ratio

In previous studies, it has been determined that increasing reinforcement ratio increases the tensile strength of composite materials (Bajaj, 2011; Gui et al., 2000; Hindi et al., 2015; Kok, 2005; Kumar et al., 2015; Sharma et al., 2015; Singh et al., 2013; Sujan et al., 2012). The tensile strength of composite

Table 3. Tensile test results

materials increased from 54.5 MPa to 105.17 MPa with the increase of Si₃N₄ weight percent. It has been observed that this result is consistent with the information in the literature.

3.3. Impact Strength

The average impact strength values were calculated by taking the averages of the values obtained as a result of the impact tests (Table 4). The graph showing the change of the impact strength values of the materials according to the reinforcement ratio is also given in Figure 3.

Table 4. Impact test results

Material	Impact Strength (J) 1st test	Impact Strength (J) 2nd test	Impact Strength (J) 3rd test	Average Impact Strength (J)
AL	4,62	5,22	4,98	4,94
ALSN05	6,81	6,21	6,66	6,56
ALSN075	11,58	10,98	12,45	11,67
ALSN1	12,65	13,85	13,04	13,18

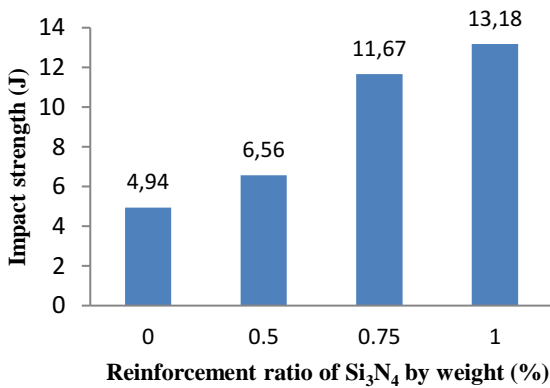


Figure 3. Change of impact strength with Si₃N₄ percent weight ratio

There are different results in the literature regarding the changes in impact strength of composite materials depending on the increasing reinforcement ratio. However, it was mostly seen that the impact strength increased with increasing reinforcement ratio. Impact resistance values increase in production methods where the reinforcement material is well wetted by the matrix material and the formation of undesirable secondary phases at the interface is not formed or the formation is reduced (Bajaj, 2011; Singh et al., 2013; Singla et al., 2009; Sujan et al., 2012).

In this study, it was observed that the impact strength increased from 4.94 J to 13.18 J with the increase of Si₃N₄ reinforcement ratio. It is thought that this situation occurs as a result of the uniform distribution of Si₃N₄ particles in the matrix and the strong interfacial bonding between the aluminum matrix and Si₃N₄.

3.4. Density and Porosity

For each of the unreinforced and reinforced materials, the theoretical density determined according to the mixtures rule, the experimental density obtained according to the Archimedes

principle and the porosity ratios calculated using these density values are given in Table 5.

Table 5. Theoretical and experimental densities and porosity ratios of materials

Material	Theoretical density (g/cm ³)	Experimental density (g/cm ³)	Porosity (%)
AL	2,700	2,530	6,29
ALSN05	2,703	2,532	6,32
ALSN075	2,704	2,534	6,28
ALSN1	2,710	2,538	6,35

The change of the theoretical and experimental densities of Si₃N₄ reinforced composites according to the reinforcement ratio is given in Figure 4. In addition, the change of the porosity ratios with the reinforcement ratio is given in Figure 5. Since the density of Si₃N₄ is higher than the density of the matrix, it has been observed that the densities of the composite materials increase linearly with the increase of the reinforcement ratio by weight. In addition, it was determined that the porosity increased with the increase of Si₃N₄ reinforcement ratio.

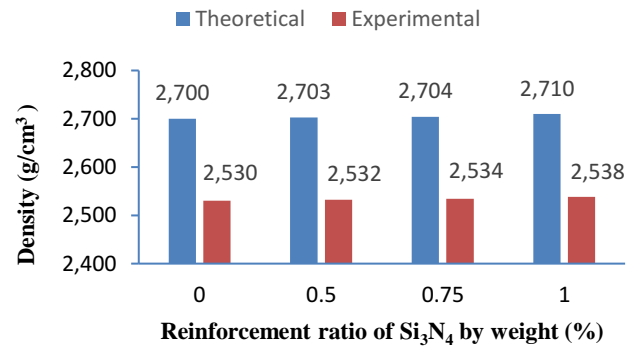


Figure 4. Change of theoretical and experimental density with Si₃N₄ percent weight ratio

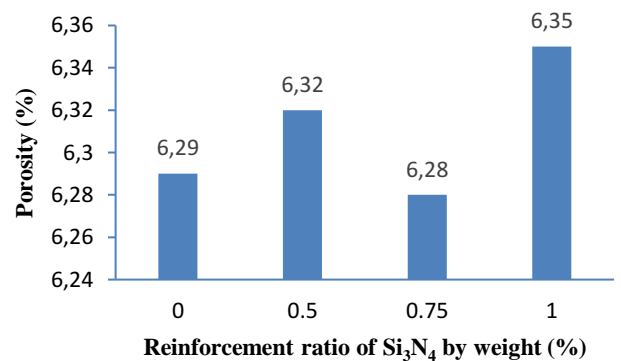


Figure 5. Change of porosity ratio with Si₃N₄ percent weight ratio

3.5. Microstructure

XRD and SEM analyzes of Si₃N₄ powders used in composite production are given in Figure 6. XRD analysis shows that the powders used are completely Si₃N₄. SEM

analysis shows that the average particle size of Si_3N_4 powder is around 500-800 nm.

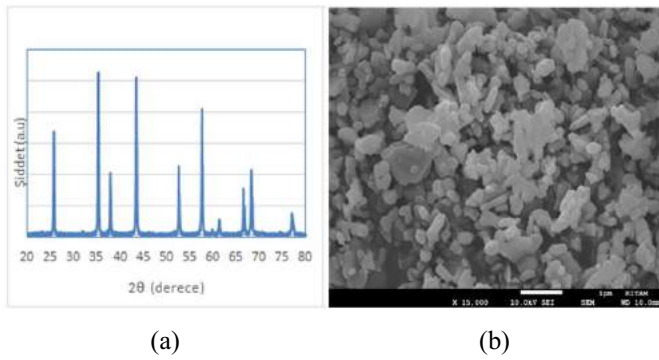


Figure 6. XRD (a) and SEM (b) analyzes of Si_3N_4 powders

In Figure 7, XRD analysis of unreinforced Al matrix material and Si_3N_4 reinforced composites is given. The whole structure gave peaks belonging entirely to aluminum. The reason for the absence of Si_3N_4 peak in the structure is that the amount used is less than 5% by weight and the detection limit of the device is low.

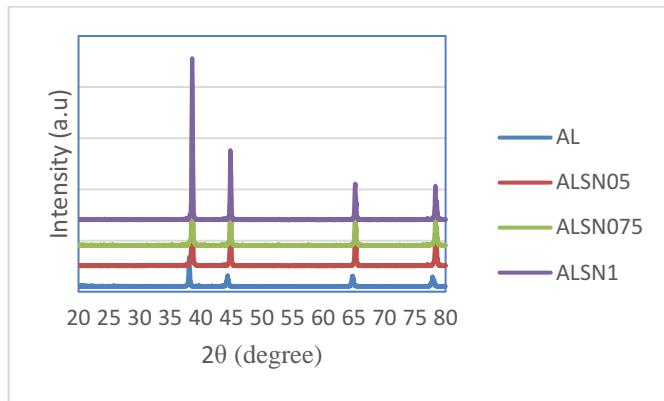


Figure 7. XRD analysis of unreinforced Al matrix and Si_3N_4 reinforced composites

In Figure 8, fractured surface SEM images of composites are given. From the images, it is seen that the grains form necks and have a low porous structure. As can be seen from the figure, the particle distribution increases with increasing Si_3N_4 amount. The homogeneous dispersion of the reinforcement material can be shown as the reason for the increase in the mechanical properties with the increasing amount of dust.

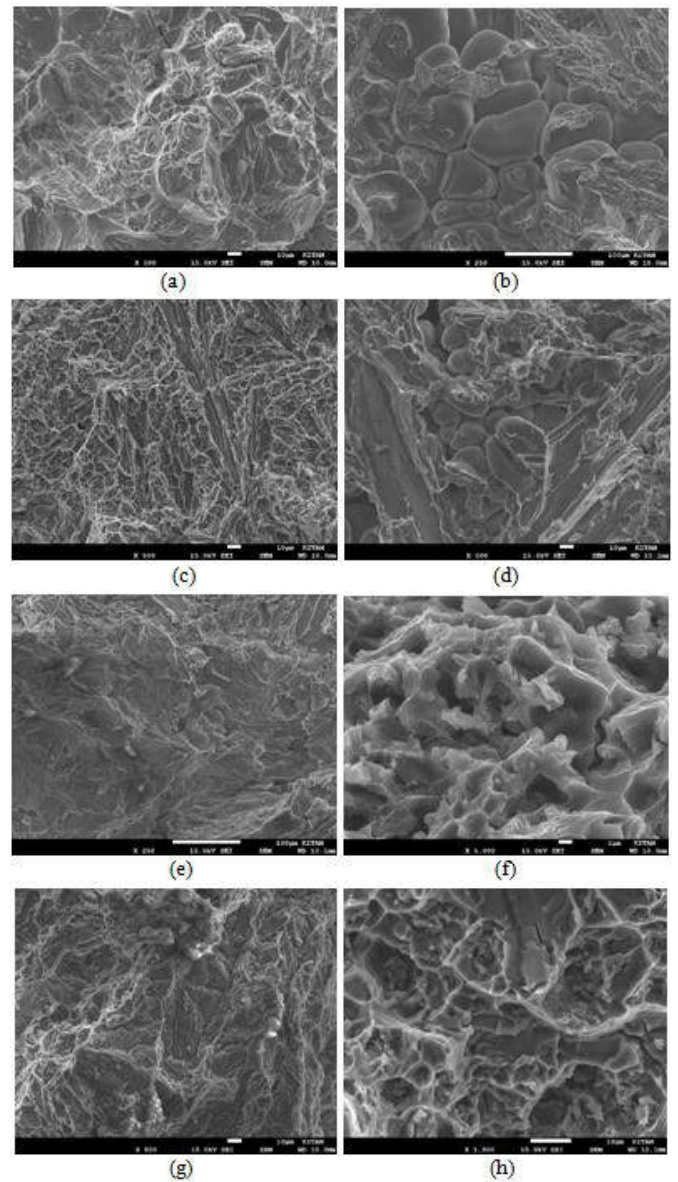


Figure 8. Fractured surface SEM images of unreinforced Al matrix and Si_3N_4 reinforced Al composites: (a-b) AL, (c-d) ALSN05, (e-f) ALSN075, (g-h) ALSN1

Elemental mapping results are given for the unreinforced Al matrix in Figure 9 and for ALSN1 with the best mechanical properties in Figure 10. As seen in the material containing unreinforced Al, there are Al, Si, Mg and Mn elements in the structure. On the other hand, in the mapping made for ALSN1, which shows the best mechanical properties, nitrogen is also added to these. In addition, the distribution in the places where Si and N are found is similar to each other, showing that the dust is homogeneously dispersed.

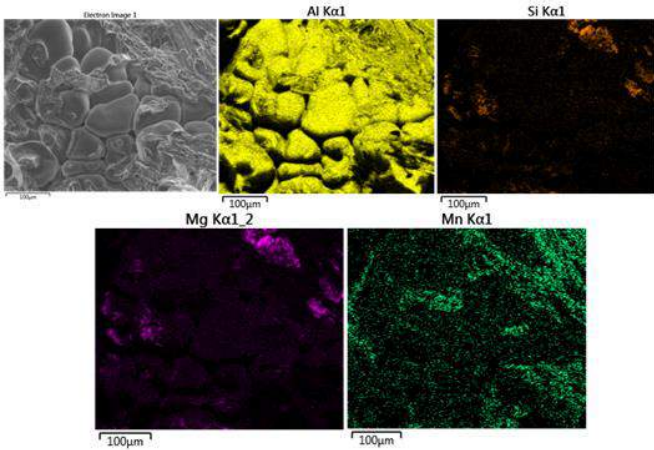


Figure 9. Elemental mapping results for unreinforced Al

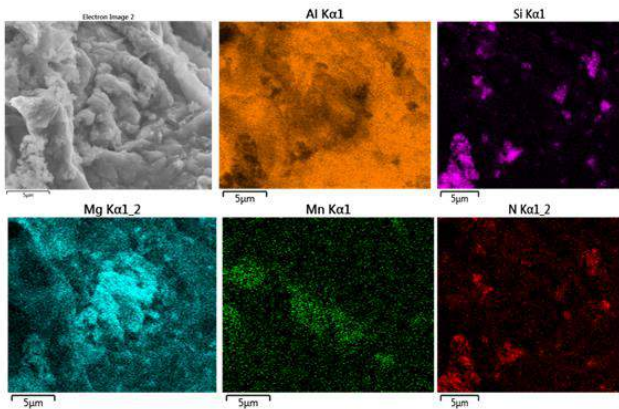


Figure 10. Elemental mapping results for ALSN1

4. Conclusions and Recommendations

In this study, the effects of Si_3N_4 reinforcement at different reinforcement ratios (0.5, 0.75, 1 wt%) on the density, hardness, tensile strength, impact strength and microstructure of composites produced from waste aluminum by stir casting method were investigated. The results of the experimental studies are summarized as follows.

- 1) It was determined that the hardness increased from 70 HV to 87.9 HV with increasing Si_3N_4 percentage weight ratio. The highest hardness was obtained at the rate of 1% reinforcement by weight.
- 2) It was observed that the tensile strength increased from 54.5 MPa to 105.17 MPa with the increase of Si_3N_4 weight percentage. The highest tensile strength was obtained at the rate of 1% reinforcement.
- 3) The impact strength increased from 4.94 J to 13.18 J with the increase of the Si_3N_4 percent weight ratio, and it was observed that the highest value was obtained at the 1% reinforcement rate.
- 4) It was determined that the density and porosity of the composite materials increased with the increase of the Si_3N_4 percent weight ratio. The density of the composite material at 1% reinforcement ratio was determined as $2,538 \text{ g/cm}^3$, and the porosity rate was determined as 6.35%.

- 5) From the fracture surface SEM images of Si_3N_4 reinforced composites, it was seen that the grains formed neck. In addition, it was determined that the particle distribution increased depending on the increasing amount of Si_3N_4 and the reinforcement material was distributed homogeneously.

5. Acknowledge

The authors acknowledge Black Sea Advanced Technology Research and Application Center (KITAM) in Ondokuz Mayıs University (OMU) for SEM and XRD analyses.

References

- Bajaj, P. (2011). Mechanical behaviour of aluminium based metal matrix composites reinforced with SiC and alumina [Master's Thesis, Thapar University Master of Engineering in Production & Industrial Engineering].
- Ediz, Ç. (2011). Recycling process of aluminum and the effects of the materials used in the process on aluminum components [Master's Thesis, Bilecik University Institute of Science].
- Gui, M. C., Wang, D. B., Wu, J., Yuan, G. & Li, C. G. (2000). Microstructure and mechanical properties of cast (Al-Si)/SiCp composites produced by liquid and semisolid double stirring process. *material science and technology. Materials Science and Technology*, 16(5), 556-563.
- Hashim, J., Looney, L. & Hashmi, M. S. J. (1999). Metal matrix composites: production by the stir casting method. *Journal of Materials Processing Technology*, (92-93), 1-7.
- Hindi, J., Kini, A. U., Sharma, S. S., Gurumurthy, B. M. & Shankar, G. (2015). Mechanical characterization of stir cast Al 6063 matrix SiC reinforced metal matrix composites. *5th International Conference on Automotive, Mechanical and Materials Engineering (ICAMME'2015)*, 69-73.
- İzgi, N. (2011). Recycling of aluminium and improving its qualities [Master's Thesis, Istanbul Technical University Institute of Science].
- Kalemtaş, A. (2014). An overview of metal matrix composites. *Putech & Composites*.
- Kılıç, C. (2008). *Abrasive wear of abrasion and cold forming for the composite produced by squeeze casting method with Al-Mg matrix (AA5754) SiCp consolidation* [Master's Thesis, Trakya University Institute of Science].
- Kok, M. (2005). Production and mechanical properties of Al_2O_3 particle reinforced 2024 aluminium alloy composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 161(3), 381-387.
- Kumar, N. M., Kumaran, S. S. & Kumaraswamidhas, L. A. (2015). An investigation of mechanical properties and corrosion resistance of Al2618 alloy reinforced with Si_3N_4 , AlN and ZrB_2 composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 652, 244-249.
- Nazik, C. (2013). *The production of aluminum matrix-B4C particle reinforced composites by powder metallurgy method and investigation of their mechanical properties* [Master's Thesis, Selçuk University Institute of Science].
- Özkök, Ö. (2004). *Production of $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ reinforced aluminum based composite materials and investigation of their properties* [Master's Thesis, Gazi University Institute of Science].

- Pulat, D., Altubay, M., Erzi, E., Yüksel, Ç. & Dışpınar, D. (2014). Investigation of efficiency and fluidity in aluminum recycling. *15th International Materials Symposium (IMSP'2014)*, 905-909.
- Sharma, P., Sharma, S. & Khanduja, D. (2015). Production and some properties of Si₃N₄ reinforced aluminium alloy composites. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 3(3), 352-359.
- Singh, L., Ram, B. & Singh, A. (2013). Optimization of process parameter for stir casted aluminium metal matrix composite using taguchi method. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(8), 375-383.
- Singla, M., Dwivedi, D. D., Singh, L. & Chawla, V. (2009). Development of aluminium based silicon carbide particulate metal matrix composite. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 8(6), 455-467.
- Sujan, D., Oo, Z., Rahman, M., Maleque, M. & Tan, C. K. (2012). Physio-mechanical properties of aluminium metal matrix composites reinforced with Al₂O₃ and SiC. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 6(8), 678 – 681.
- Sur, G., Şahin, Y. & Gökkaya, H. (2005). Production of aluminum based particulate reinforced composites using molten metal mixing and squeeze casting methods. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 20(2), 233-238.
- Surappa, M.K. (2003). Aluminum matrix composites: Challenges and opportunities. *Sadhana*, 28, 319-334.

ⁱ This study was derived from the master's thesis titled "Characterisation and Production of Graphene and Silicon Nitride Reinforced Composites with Using Waste Aluminum" completed at OMU Institute of Science.



Modeling and Vibration Suppression of a Flexible Structure in SimMechanics

Mehmet Uyar^{1*}

^{1*} Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Bayburt, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3511-7682), mehmuyar@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011316)

ATIF/REFERENCE: Uyar, M. (2021). Modeling and Vibration Suppression of a Flexible Structure in SimMechanics. *European Journal of Science and Technology*, (28), 766-770.

Abstract

In this work, modeling and simulation of a flexible cantilever beam are investigated in SimMechanics and then, vibration results are verified with the finite element (FE) model in ANSYS. Flexible beam model based on SimMechanics is created in MATLAB, while the FE model is established in ANSYS. In the system, inputs are determined as a force base actuator and disturbance force. Outputs of the system are selected as displacement and acceleration responses at the endpoint of flexible beam. Undamped natural frequencies are determined by modal analysis in ANSYS and frequency analysis in MATLAB. Transient analyses are achieved to obtain the vibration responses. For the open loop responses, the displacement and acceleration vibration results are verified using step and harmonic excitations. The closed-loop control with PID controller is applied to the FE and SimMechanics models to control the endpoint position. The open and closed-loop vibration results are indicated for different controller gains. It observed that open and closed-loop results are successfully matched well with the FE model and SimMechanics. The accuracy of flexible beam model based on SimMechanics is verified with the FE model.

Keywords: Flexible beam model, Finite element model, Harmonic excitation, SimMechanics.

SimMechanics ile Esnek Bir Yapının Modellenmesi ve Titreşim Sönümlenmesi

Öz

Bu çalışmada, SimMechanics'te esnek bir kirişin modellenmesi ve simülasyonu incelenmiş ve ardından ANSYS'te sonlu elemanlar (FE) modeli ile titreşim sonuçları doğrulanmıştır. MATLAB'de SimMechanics tabanlı esnek kiriş modeli oluşturulurken, FE modeli ANSYS'de kurulmuştur. Sistemin girdileri, bir kuvvet tabanlı uyarıcı ve bozucu kuvvet olarak belirlenir. Sistemin çıkışları, esnek kirişin uç noktasındaki yer değiştirme ve ivme sinyalleri olarak seçilir. Sönümsüz doğal frekanslar, ANSYS'de modal analiz ve MATLAB'da frekans analizi ile belirlenir. Titreşim cevaplarını elde etmek için geçici analizler yapılır. Açık döngü cevapları için, yer değiştirme ve ivme titreşim sonuçları, adım ve harmonik uyarılar kullanılarak doğrulanır. Uç nokta konumunu kontrol etmek için FE ve SimMechanics modellerine PID kontrolörlü kapalı döngü kontrol uygulanır. Açık ve kapalı döngü titreşim sonuçları, farklı kontrolör kazançları için belirlenmiştir. Açık ve kapalı döngü sonuçlarının, FE modeli ve SimMechanics ile başarılı bir şekilde eşleştirildiği gözlemlenmiştir. SimMechanics tabanlı esnek kiriş modelinin doğruluğu FE modeli ile doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Esnek kiriş modeli, Sonlu elemanlar modeli, Harmonik uyarım, SimMechanics.

* Corresponding Author: mehmuyar@gmail.com

1. Introduction

In many engineering areas, flexible structures are commonly used, such as, in particular, robotic systems and aerospace components designed for less weight structures (Mirafzal, Khorasani and Ghasemi, 2016). Dynamic modeling of flexible structures is more critical in these applications due to less rigid. Also, these structures are more sensitive to dynamic forces. Therefore, the modeling and vibration analysis of flexible structures are an important step to verify with the experimental studies. In many studies, the varied analytical approaches have been used to determine their dynamic behavior.

For simple vibration analysis, modeling of continuous structures such as beams can model as lumped mass model (Simeng *et al.*, 2016), which are a series masses in a multi-degree of freedom system. Nevertheless, the accuracy of these models has limited (Meirovitch L, 2001). Some researchers offered new techniques to model the dynamic characteristics of a beam. Whalen (Whalen, 2008) modeled the transverse vibrations of the beam structure using Euler-Bernoulli beam theory, which ignores the possibility of coupled torsional-flexural bending motions. With similar analytical method, the characteristic equation of two separate beams, that is a function of eigenvalues, its sectional flexibility and the position of crack is obtained by Lin (Lin, 2004) using the Timoshenko beam theory. In Ref. (Shafiei and Khaji, 2011), an analytical method which is assume to support Timoshenko beam theory is developed by Shafiei and Khaji in order to evaluate the forced vibration response of beam with sectional flexibility.

The finite element method (FEM) that is one of the numerical methods, has been widely used for the dynamic modeling of flexible structures. Summarizing the works done, Zeng *et al.* (Zeng *et al.*, 2017) modeled a cantilever beam by using FEM and then, studied the dynamic characteristic analysis of beam occurred in different crack types. Won *et al.* (Won, Lee and Chung, 2018) presented the dynamic responses of the stick-slip vibrations of a beam by applying the harmonic base excitation. FE method is used to model the dynamic behavior of the beam. Also, Mirafzal *et al.* (Mirafzal, Khorasani and Ghasemi, 2016) developed the equation of motion of a cantilever beam using the discrete standard formulation. In Ref. (Altunışık, Okur and Kahya, 2017), for numerical solutions, the FE model of a cantilever beam with a hollow circular cross-section is created in ANSYS. A detailed study is presented by authors on the vibration-based damage detection and modal parameter identification. Also, for the dynamic and static analysis of beam structures, Dona *et al.* (Dona *et al.*, 2015) presented a beam FE model able to simulate such as longitudinal, rotational and transversal elastic spring. Castel *et al.* (Castel, Vidal and François, 2012) developed a macro-finite-element (MFE) modeling method to calculate the deflection of the reinforced concrete beam.

Because of less rigidity of the flexible beams, unwanted vibration control is a critical step for performance criteria in many engineering applications. In literature, as presented in Ref. (Mirafzal, Khorasani and Ghasemi, 2016), vibration control of a cantilever beam is done with the active control method utilizing both a genetic algorithm and discrete quadratic function. Alhazza *et al.* (Alhazza, Nayfeh and Daqaq, 2009) improved the controller with acceleration signal as feedback to minimize the vibrations of a beam utilizing an actuator and sensor. With a novel control method in Ref. (Chen, Cai and Pan, 2009), an experimental study

of a flexible plate is presented employing delayed-feedback control for effective vibration suppression.

In literature above, many studies have been studied on numerical and analytical methods to model the dynamic characteristics of flexible structures. Especially, the FE method is widely used for dynamic modeling of the beam. However, it is limited, or none studies on the modeling of flexible structures in flexible beam model based on SimMechanics, in particular for rigid structures, SimMechanics is commonly used. In this work, both the FE model and SimMechanics model of a flexible cantilever beam are studied in open and closed-loop system. The FE model is created in ANSYS while SimMechanics model is established in MATLAB/Simulink. The accuracy of the SimMechanics model is verified with the FE method by using step and harmonic excitation. Performance of numerical models is investigated with the uncontrolled and controlled vibration results.

2. Flexible Beam Model by SimMechanics

The flexible beam model of a cantilever beam considered in this study is created with the block diagram by using SimMechanics library in MATLAB/Simulink. The block diagram for SimMechanics model is shown in Fig. 1.

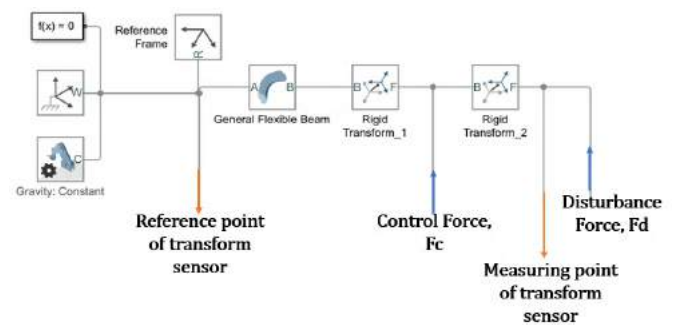


Fig. 1 Flexible beam model

SimMechanics model shown in Fig. 1 consists of five main sections: reference frame, flexible beam element, rigid transforms, inputs and outputs. Reference frame is used to describe the flexible cantilever beam model in general coordinates at x , y , z -axis and, it is selected as reference point of transform sensor. Also, reference frame in block diagram is connected to the general flexible beam element. Flexible beam element can use to model the beam that has linear, elastic bending, axial and torsional deformations. Each flexible beam element has connection and reference frames called A and B to connect the other blocks. The connection frames are located at the endpoint of the beam element while reference frames which is the internal reference of the beam element are placed to connect to the previous connection port. So, general coordinate axes of the reference frame are moved from port A to port B by the connection and reference frames. The material properties and dimensions of the flexible beam are defined in the flexible beam element. The material properties are taken as the density of 7750 kg/m^3 , elastic modulus of 210 GPa and poisson ratio of 0.3 . Dimensions of the cantilever beam are chosen as length x height x width of $600 \times 20 \times 3.2 \text{ mm}^3$.

The flexible beam element uses the proportional damping method to define the damping of the system. In the proportional damping method, damping matrix is defined as a linear combination of the mass and stiffness matrices by using mass

α and stiffness β coefficients. Damping coefficients for flexible cantilever beam are chosen as $\alpha=0.133378$ and $\beta=0$.

In order to specify the positions of the actuator and sensor in the system, rigid transform is utilized in block diagram of the flexible beam model. Position of the control force F_c is described with Rigid Transform 1 at distance 260 mm from the root while Rigid Transform 2 is used to define the disturbance force F_d and transform sensor at distance 10 mm from endpoint of the flexible cantilever beam. Transform sensor which have two connection port called reference point B and measured point F, is utilized to measure the displacement and acceleration signals placed at the endpoint of the system. Therefore, in the system, inputs are defined as disturbance and control forces while outputs are chosen as the displacement and acceleration signals obtained from the transform sensor.

2. Finite Element Model by ANSYS

In this section, finite element (FE) model shown in Fig. 2 is created to verify the SimMechanics model of a flexible cantilever beam.

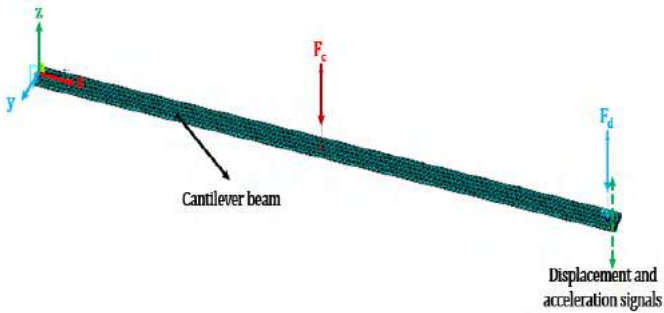


Fig. 2 Finite element model

The FE model is established in ANSYS by using SOLID92 and MASS21 elements. SOLID92 element is used to model the flexible cantilever beam as a solid model while MASS21 element is utilized to define the payload of 0.054 kg at the endpoint of the flexible cantilever beam. Payload is considered at a distance 10 mm from the tip point. For the FE model, the system has 2998 elements and 6676 nodes in total since element size is taken as 5 mm to generate the meshing of FE model.

3. Modal Analysis

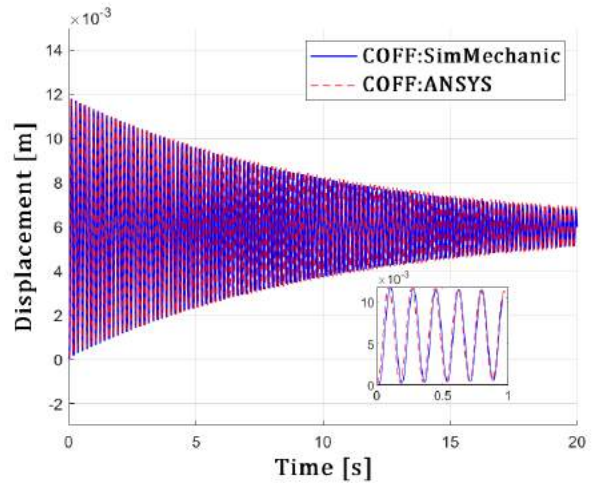
In order to compare the natural frequencies of the FE and SimMechanics models, modal analysis is performed. The first natural frequencies which are determined using both ANSYS and SimMechanics, are obtained as 5.737 Hz for FE model and 5.737 Hz for SimMechanics model.

Time parameters of transient analysis are determined by undamped natural frequencies of the beam. With the first natural frequency by corresponding bending mode shape, the time step dt is calculated as $dt=1/5.737/20$ s and settling time t_{son} is taken as 20 s.

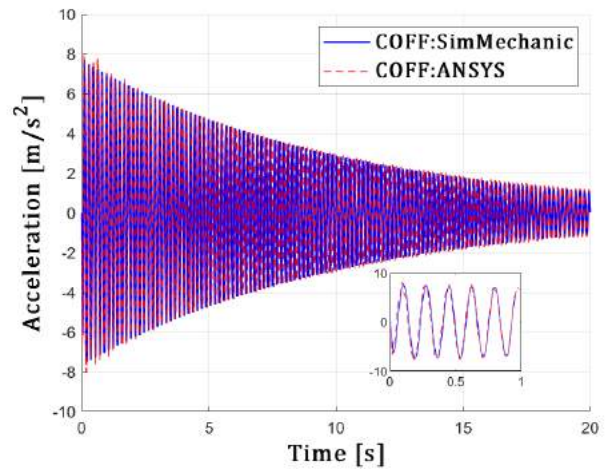
4. Verification of Open Loop Responses

In order to verify SimMechanics model, step and harmonic excitations for open loop responses are applied to the FE model and flexible beam model. Displacement and acceleration

simulation results are shown in Fig. 3 for step input and Fig. 4 for harmonic excitation.

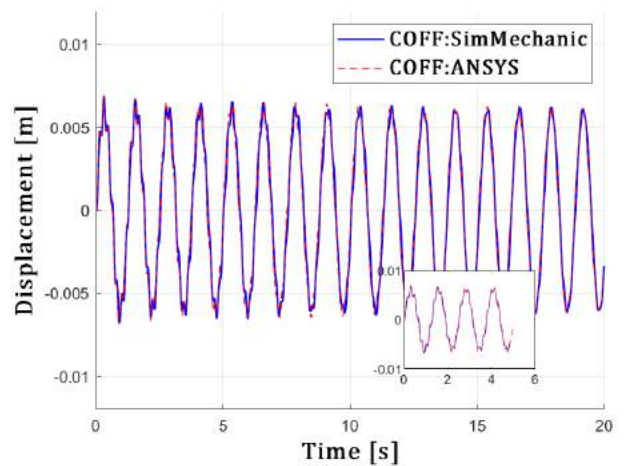


(a)



(b)

Fig. 3 Open loop responses for step input, a) displacement and b) acceleration



(a)

reference RMS values. RMS values of the simulation results in SimMechanics are considered for comparison. For step input, as shown in Fig. 3, RMS and FV values are found as 6.3543×10^{-3} mm and 6.3289×10^{-3} mm, 99.61% for displacement vibration response and, 2.7065 m/s² and 2.7343 m/s², 98.98% for acceleration vibration response, respectively. For harmonic excitations, those values are obtained as 99.98%, 99.94% for displacement vibration response and 97.88%, 97.88% for acceleration vibration response, separately. When the FV values of vibration results are compared, the accuracy of SimMechanics model is verified with the FE model in open loop system.

5. Closed-loop Responses by PID Control

The closed-loop block diagram is presented in Fig. 5. F_d is disturbance force applied at the free point to excite the beam. The vibrations $y(t)$ during the excitation is occurred at tip point. $y(t)$ is simultaneously obtained as displacement signals at endpoint and is defined as feedback. The PID controller is used for the closed-loop vibration control. The controller gains that are proportional K_p , integral K_i and derivative K_d coefficients, are determined by trial-and-error method by considering the minimum settling time and overshoot. The instantaneous error $e(t)$ is computed by subtracting the reference value from the feedback value. Then, $e(t)$ is applied to the controller as input. The actuation signal achieved using the output of controller is used as control force F_c in the block diagram. F_c is applied to the beam to reduce the vibrations occurred at the endpoint.

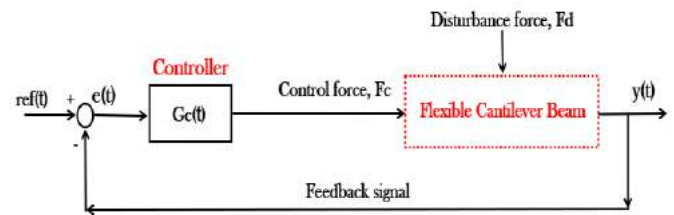
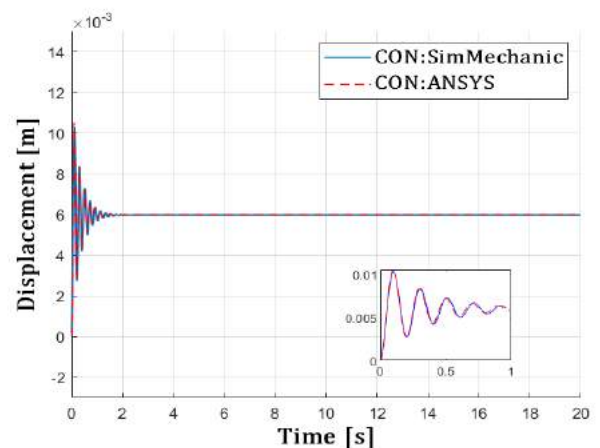
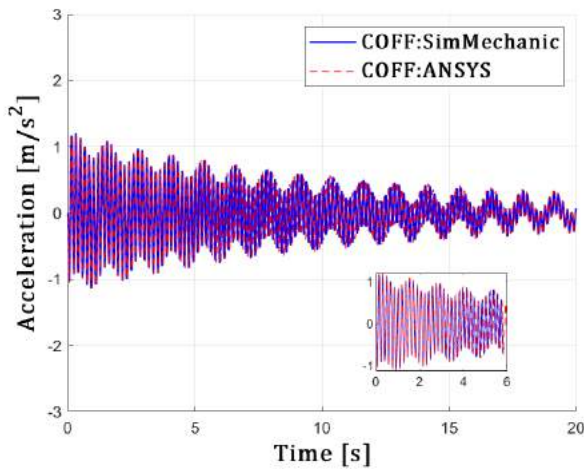


Fig. 5 Closed-loop block diagram

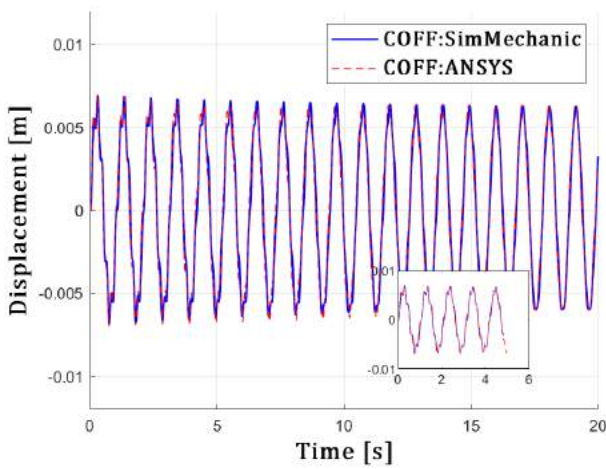
The controlled time responses shown in Fig. 6 are obtained for various controller gains.



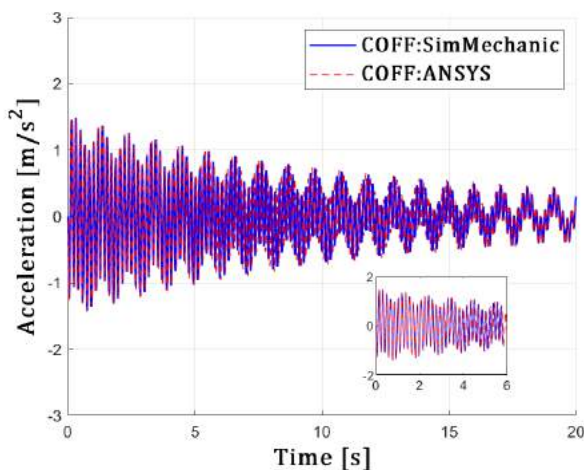
(a)



(b)



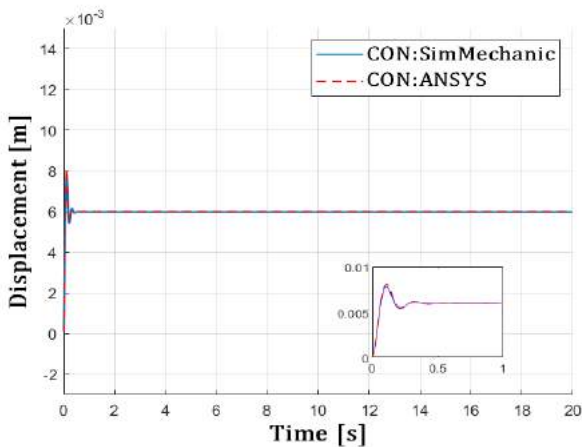
(c)



(d)

Fig. 4 Time responses for a-b) 5 Hz and c-d) 6 Hz harmonic excitation, a-c) displacement and b-d) acceleration

Vibration responses are shown for step amplitude of 1 N and harmonic excitations of 5 and 6 Hz. It is observed that the results of flexible beam model are successfully matched with the FE simulation. The fitness values (FV) of the root mean square (RMS) of vibration responses are calculated to observe how fit the SimMechanics model according to the FE model. Firstly, RMS values are calculated and then, FV is computed according to the



(b)

Fig. 6 Closed-loop responses for step input, a) $K_p=100$, $K_i=0$, $K_d=0$ and b) $K_p=100$, $K_i=0$, $K_d=5$

As seen from Fig. 6, controlled vibration responses are presented for the FE and SimMechanics methods. Different controller gains are studied. It can be seen from Fig. 6 that the obtained vibration results agree well with the FE and SimMechanics simulations. The amplitude of vibrations is reduced with the PID controller. The settling time decreases by the closed-loop control. Therefore, dynamic performance of the flexible beam can be developed. The settling time of controlled vibration responses according to open loop responses is successfully minimized.

To compare the flexible beam model based on SimMechanics with the FE model, FV values of closed-loop vibration responses are calculated as 99.96% for $K_p=100$, $K_i=0$, $K_d=0$, and 99.95% for $K_p=100$, $K_i=0$, $K_d=5$, respectively. For the displacement vibration results, it is observed that the SimMechanics model is matched well with the FE model in the closed-loop system.

6. Conclusions

The open and closed-loop systems for a flexible cantilever beam are studied using the FE method and simulation based on the SimMechanics in MATLAB. For open loop system, the disturbance force is excited to the beam at endpoint. Displacement and acceleration responses are obtained at the tip point of the beam. Vibration responses of step and harmonic excitation are presented for the displacement and acceleration results. For the closed-loop system, displacement responses for step input are obtained using the FE model and SimMechanics approach. The effect of controller gains is investigated for displacement results in the FE and SimMechanics models. Successfully, the unwanted vibrations of beam are reduced by employing the PID control.

References

- Alhazza, K. A., Nayfeh, A. H. and Daqaq, M. F. (2009) 'On utilizing delayed feedback for active-multimode vibration control of cantilever beams', *Journal of Sound and Vibration*. Academic Press, 319(3–5), pp. 735–752. doi: 10.1016/J.JSV.2008.06.052.
- Altunışık, A. C., Okur, F. Y. and Kahya, V. (2017) 'Modal parameter identification and vibration based damage detection of a multiple cracked cantilever beam', *Engineering Failure Analysis*, 79(April), pp. 154–170. doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.04.026.

- Castel, A., Vidal, T. and François, R. (2012) 'Finite-Element Modeling to Calculate the Overall Stiffness of Cracked Reinforced Concrete Beams', *Journal of Structural Engineering*, 138(7), pp. 889–898. doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0000520.
- Chen, L. X., Cai, G. P. and Pan, J. (2009) 'Experimental study of delayed feedback control for a flexible plate', *Journal of Sound and Vibration*. Academic Press, 322(4–5), pp. 629–651. doi: 10.1016/J.JSV.2008.11.045.
- Donà, M. et al. (2015) 'An efficient two-node finite element formulation of multi-damaged beams including shear deformation and rotatory inertia', *Computers and Structures*, 147, pp. 96–106. doi: 10.1016/j.compstruc.2014.10.002.
- Lin, H. P. (2004) 'Direct and inverse methods on free vibration analysis of simply supported beams with a crack', *Engineering Structures*, 26(4), pp. 427–436. doi: 10.1016/j.engstruct.2003.10.014.
- Meirovitch L (2001) *Fundamentals of Vibrations*. International Edition. New York: McGraw-Hill.
- Mirafzal, S. H., Khorasani, A. M. and Ghasemi, A. H. (2016) 'Optimizing time delay feedback for active vibration control of a cantilever beam using a genetic algorithm', *JVC/Journal of Vibration and Control*, 22(19), pp. 4047–4061. doi: 10.1177/1077546315569863.
- Shafiei, M. and Khaji, N. (2011) 'Analytical solutions for free and forced vibrations of a multiple cracked Timoshenko beam subject', *Acta Mechanica*, 97, pp. 79–97. doi: 10.1007/s00707-011-0495-x.
- Simeng, L. et al. (2016) 'Mode-specific damage identification method for reinforced concrete beams: Concept, theory and experiments', *Construction and Building Materials*, 124(2016), pp. 1090–1099.
- Whalen, T. M. (2008) 'The behavior of higher order mode shape derivatives in damaged, beam-like structures', *Journal of Sound and Vibration*, 309(3–5), pp. 426–464. doi: 10.1016/j.jsv.2007.07.054.
- Won, H. I., Lee, B. and Chung, J. (2018) 'Stick-slip vibration of a cantilever beam subjected to harmonic base excitation', *Nonlinear Dynamics*. Springer Netherlands, 92(4), pp. 1815–1828. doi: 10.1007/s11071-018-4164-7.
- Zeng, J. et al. (2017) 'Dynamic characteristic analysis of cracked cantilever beams under different crack types', *Engineering Failure Analysis*. Elsevier Ltd, 74, pp. 80–94. doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.01.005.



Speed Gradient Control Algorithm for Optogenetic Modeling

Sergey Borisenok^{1,2*}

^{1*} Abdullah Gül University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering,
Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1992-628X), sergey.borisenok@agu.edu.tr

² Boğaziçi University, Feza Gürsey Center for Physics and Mathematics, İstanbul, Turkey, (0000-0002-1992-628X), borisenok@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011271)

ATIF/REFERENCE: Borisenok, S. (2021). Speed Gradient Control Algorithm for Optogenetic Modeling. *European Journal of Science and Technology*, (28), 771-774.

Abstract

We discuss the feedback algorithm for the optogenetic control over the membrane conductance in the frame of Grossman-Nikolic-Toumazou-Degenaar (GNTD) ordinary differential system modeling the response of channelrhodopsin-2 (ChR2) expressing neurons to the light stimulation with the various types of ChR2 mutants. The GNTD population dynamics contains four functional states (two open and two closed) with the transitions among them due to photo-excitations with the stimulating light or decays back from the open to the closed states. The control signal in the model is defined via the photon flux per one ChR2 in the dimensionless form. The control goal is the total conductance of a neural section due to ChR2. We formulate the control algorithm in the form of Fradkov's speed gradient method driving the dynamical system in the phase space such that the target function for the discrepancy between the actual total conductance and its desired level is minimized. We derive the explicit equation for the photon flux field stabilizing the conductance characteristics and perform the numerical simulation for the controlled GNTD differential system to prove the achievability of the control goal. Our approach can be useful for modeling different experimental problems of optogenetics, particularly, for driving the collective dynamics of neural cells in epilepsy, depression, and tumors of the central nervous system.

Keywords: Optogenetics, ChR2 channel, Membrane conductance, Feedback control, Speed gradient algorithm.

Optogenetik Modelleme için Hızlı Gradyan Kontrol Algoritması

Öz

Channelrhodopsin-2'yi (ChR2) ekspres eden nöronların, ChR2 mutantlarının çeşitli tipleriyle ışık uyarımına cevabını modelleyen Grossman-Nikolic-Toumazou-Degenaar (GNTD) sıradan diferansiyel sistemi çerçevesinde zar iletkenliği üzerindeki optogenetik kontrol için geri besleme algoritmasını tartışıyoruz. GNTD popülasyon dinamiği, aralarında geçiş yapabilen ikisi açık ve ikisi kapalı olmak üzere dört işlevsel durum içermektedir. Bu geçişler, uyarıcı ışığın fotoeksitasyonları ya da açık durumlardan kapalı durumlara geri bozulmalar nedeniyle gerçekleşmektedir. Model içindeki kontrol sinyali, boyutsuz şekilde, ChR2 başına foton akışı üzerinden tanımlanmaktadır. Kontrolün amacı ChR2 nedeniyle bir nöral kısmın toplam iletkenliğidir. Var olan toplam iletkenlik ve bu iletkenliğin istenen seviyesi arasındaki uyumsuzluğu temsil eden hedef fonksiyonunun en aza indirilmesi sağlanacak şekilde, faz uzayı içindeki dinamik sistemi yönlendiren Fradkov'un hızlı gradyan yöntemi biçimindeki kontrol algoritmasını formüle etmekteyiz. İletkenlik özelliklerini kararlı hale getiren foton akışı alanı için açık denklemi türetmekte ve kontrol amacına ulaşabilirliğin kanıtı olarak kontrol altındaki GNTD diferansiyel sistemi için sayısal benzetim gerçekleştirmekteyiz. Yaklaşımımız optogenetiğin farklı deneysel problemlerini modellemede, özellikle, epilepsi, depresyon ve merkezi sinir sistemi tümörlerindeki sinir hücrelerinin toplu dinamiğini yönlendirmede faydalı olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Optogenetik, ChR2 kanalı, Membran iletkenliği, Geribesleme kontrolü, Hızlıgradyan algoritması.

*Corresponding Author: sergey.borisenok@agu.edu.tr

1. Introduction

Last decade the genetic engineering methods have been applied to excite or inhibit single neurons and their populations via light-sensitive channels with different optical devices.

Optogenetics serves as an alternative to electrical stimulation for the control over the membrane voltage, and for the modification of action potentials in excitable cells (Williams and Entcheva, 2015). It is superior to classical activation by microelectrodes. The reason for this is its high temporal and spatial resolution. Optical stimulation can be achieved by using caged compounds, e.g. caged ATP, caged Glutamate, whereby the substrates for depolarizing ion channels are delivered to membranes and activated by pulses of UV-light to the chemical photolabile cage in the micro- and millisecond time scale.

Optogenetics allows neurons to be controlled with millisecond pulses through the light-driven activation or inactivation of the light-gated ion channels such as Channelrhodopsin-2 (ChR2) or pumps such as Halorhodopsin.

Optogenetics has many applications, for instance, it allows controlling functions of neural cells in epilepsy, depression, and tumors of the central nervous system (Camporeze et al., 2018). Optogenetic data can be very useful for reconstructing dynamical models of brain dynamics (Oprisan et al., 2015) and for imaging and manipulating brain networks (Forli et al., 2021). Together with electrophysiological data, it provides the self-assembled multifunctional neural probes as a powerful tool for investigating causal relationships between neural circuit activity and function (Zou et al., 2021).

Here we discuss the feedback speed gradient algorithm-based model for control over the membrane conductance in the frame of the Grossman-Nikolic-Toumazou-Degenaar ordinary differential system.

2. Control Model for Optogenetics

As a basic approach for control algorithms for optogenetics, we chose here the Grossman-Nikolic-Toumazou-Degenaar (GNTD) model (Grossman et al., 2011) for the response of channelrhodopsin-2 (ChR2) expressing neurons to the light stimulation using various types of ChR2 mutants which follows the research (Nagel et al., 2003; Hegemann et al., 2005).

2.1. Grossman-Nikolic-Toumazou-Degenaar Model

The GNTD model describes two open ($O1$ and $O2$) and two closed ($C1$ and $C2$) functional states, which do not necessarily represent the actual energy states of ChR2 (Grossman et al., 2011), see Fig.1.

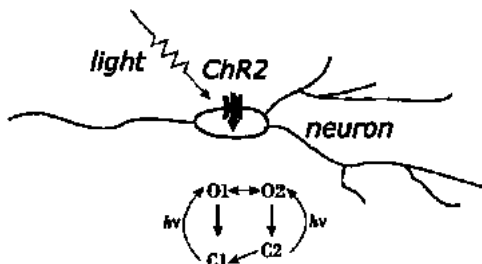


Figure 1. The scheme for the interaction of ChR2 expressing neuron with the stimulating light (Grossman et al., 2011).

ChR2 neuron can be photo-excited from its $C1$ dark-adapted closed state to any open state. From an excited state $O1$, ChR2 either decays back to the closed state $C1$ or converts into a different open state $O2$. The state $O2$ is supposed to be less conductive but more stable in comparison to $O1$. The transition from $O1$ to $O2$ can be both thermal and pulsed light stimuli into ChR2 current. Then from the open state $O2$, ChR2 either decays to another close state $C2$ or converts back to the open state $O1$, again by thermal or light excitation. From the state $C2$, ChR2 can be photo-excited back to $O2$ or slowly converted (only thermally) to $C1$.

The total number N_{of} ChR2s in a cell section is constant:

$$N_{C1} + N_{C2} + N_{O1} + N_{O2} = N = \text{const.} \quad (1)$$

The population dynamics of these states can be described as the system of the following three differential equations:

$$\begin{aligned} \frac{dN_{O1}}{dt} &= K_{a1}N_{C1} - (K_{d1} + e_{12})N_{O1} + e_{21}N_{O2}; \\ \frac{dN_{O2}}{dt} &= K_{a2}N_{C2} + e_{12}N_{O1} - (K_{d2} + e_{21})N_{O2}; \\ \frac{dN_{C2}}{dt} &= K_{d2}N_{O2} - (K_{a2} + K_r)N_{C2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Here the parameters K_{d1} and K_{d2} are the closing rates $O1 \rightarrow C1$ and $O2 \rightarrow C2$, respectively; K_r is the thermal recovery rate $C2 \rightarrow C1$. The values e_{12} and e_{21} are the rates of transition between $O1$ to $O2$ and vice versa. The parameters K_{a1} and K_{a2} are the activation rates $C1 \rightarrow O1$ and $C2 \rightarrow O2$, respectively.

The set of control parameters in the model (2) is defined via the photon flux $\varphi(t)$ per one ChR2 as (Grossman et al., 2011):

$$K_{ai} = \varepsilon_i \varphi(t); \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

where ε_i is the quantum efficiency in the state C_i (where $i = 1, 2$).

The total conductance G_{ChR} of a neural section due to ChR2 is given by:

$$G_{ChR} = (g_{O1}N_{O1} + g_{O2}N_{O2}) \cdot \frac{1 - \exp\{-U/U_0\}}{U/U_1}, \quad (4)$$

where g_{O1} and g_{O2} are the conductance of the open states $O1$ and $O2$, respectively. Eq.(4) considers the dependence of ChR2 conductance on the absolute trans-membrane potential U , while U_0 and U_1 are empirical constants.

The response of the n -th section of a cell to the change in membrane conductance can be then described by the following partial differential equation:

$$\begin{aligned} C \frac{\partial V_n}{\partial t} &= -[I_{ionic}^n + G_{ChR}^n(\varphi, U)U_n + \\ &+ \gamma_{n-1}^n(V_n - V_{n-1}) + \gamma_{n+1}^n(V_n - V_{n+1})]. \end{aligned} \quad (5)$$

Here, I_{ionic} denotes the current through the native ion channels, C is the cell section capacitance, and V is the membrane potential relative to rest potential V_{rest} ($U = V - V_{rest}$; $V_{rest} = -70$ mV). The parameters γ_n and γ_{n-1} are the conductances between the two neighboring compartments.

The model (5) assumes that the extracellular potential that is produced by the certain neuron's own activity is negligible.

Thus, the intracellular potential is set equal to the transmembrane potential.

2.2. Speed Gradient Control Algorithm for the Membrane Conductance

To control the response of the n -th section of a cell to the change in membrane conductance (5), one needs to handle the total conductance G_{Chr} (4) of a neural section due to Chr2, including the factor

$$f = g_{o1}N_{o1} + g_{o2}N_{o2}. \quad (6)$$

For the purpose of stabilization of (6) at the certain target level:

$$f_* = g_{o1}N_{o1*} + g_{o2}N_{o2*}, \quad (7)$$

we consider here the feedback speed gradient algorithm (Fradkov, 2007). Let's define the target non-negative function:

$$G = \frac{1}{2}(f - f_*)^2. \quad (8)$$

Minimization of function (8) corresponds to the achievement of the control goal (7). This goal is provided by the gradient ∇_φ in the space of the control parameter (3):

$$\varphi(t) = -\Gamma \nabla_\varphi \left(\frac{dG}{dt} \right) = -\Gamma \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{dG}{dt} \right). \quad (9)$$

Here Γ is a positive constant with the dimension of the inverse time. The control signal in (3) is one-dimensional; therefore the gradient in (9) is reduced to the partial derivative.

By the application of (9) to the target function (7)-(8):

$$\frac{dG}{dT} = (f - f_*) \cdot \left(g_{o1} \frac{dN_{o1}}{dt} + g_{o2} \frac{dN_{o2}}{dt} \right), \quad (10)$$

and, by the substitution (2) into RHS(10), one obtains the control signal in the form:

$$\varphi = -\Gamma \cdot [g_{o1}(N_{o1} - N_{o1*}) + g_{o2}(N_{o2} - N_{o2*})] \times [g_{o1}\varepsilon_1(N - N_{o1} - N_{o2} - N_{c2}) + g_{o2}\varepsilon_2N_{c2}]. \quad (11)$$

We considered in (11) property (1) for N_{c1} .

3. Numerical Simulations

The set of the GNTD model constant parameters is given in Table 1.

Table 1. Set of the GNTD model constant parameters

Parameter	Value	Unit
ε_1	0.5	ms ⁻¹
ε_2	0.12	ms ⁻¹
K_{d1}	0.1	ms ⁻¹
K_{d2}	0.05	ms ⁻¹
K_r	0.0003	ms ⁻¹
e_{12}	0.011	ms ⁻¹
e_{21}	0.008	ms ⁻¹
g_{o1}	20	nS
g_{o2}	10	nS
U_0	40	mV
U_1	15	mV

For our numerical simulations, we followed (Grossman et al., 2011) for the following numerical parameter set. The conductances of the open states g_{o1} and g_{o2} are chosen according to (Hegemann et al., 2005). All inverse time scales, including the constant Γ , are taken in ms⁻¹, the conductances – in nS, the voltages – in mV.

The results of the numerical simulations for the model developed here are represented in Figure 2. The set of initial conditions is: $N = 10, N_{c1} = 10, N_{c2} = 0, N_{o1} = 0, N_{o2} = 0$; the target populations for the open states are: $N_{o1*} = 0, N_{o2*} = 10$, i.e. all population from the initial closed state N_{c1} should be transferred to the open state N_{o2} . The speed gradient control constant is chosen as: $\Gamma = 10$.

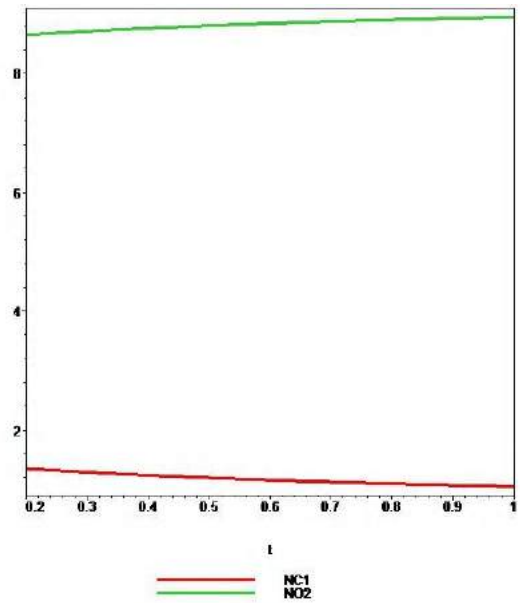


Figure 2. Numerical simulations for the speed gradient control over the total conductance (4): $N_{c1}(t)$ (red) and $N_{o2}(t)$ (green). The time scale for t is given in ms.

As in general, the speed gradient method provides the numerical convergence of the set of variables to their target values almost exponentially with a certain error.

The numerical simulations in Fig.2 demonstrate the achievability of the control goal (7)-(8). Indeed, with the very basic qualitative analysis of the numerical parameters for the system (2) based on the Table 1 we can neglect the second and third terms in RHS(2) of first two equations and consider N_{c2} to be virtually a constant (the corresponding coefficients in RHS have the smaller scales).

That simplifies our system, and for the first two dynamical equations we obtain:

$$\frac{dN_{o1}}{dt} \approx -(10 - N_{o1} - N_{o2}) \cdot N_{c1} \times [20N_{o1} + 10(N_{o2} - 10)]; \quad (12)$$

$$\frac{dN_{o2}}{dt} \approx -1.2 \cdot (10 - N_{o1} - N_{o2}) \cdot N_{c2} \times [20N_{o1} + 10(N_{o2} - 10)].$$

By (12), as soon as the control goal is achieved ($N_{o1} = 0$ and $N_{o2} = 10$), the control becomes switched off.

We should emphasize here that Fradkov's speed gradient method is robust with respect to relatively small external perturbations and noise; it is not very sensitive to the choice of the initial conditions for the system (2).

4. Discussion

The numerical simulations presented in Fig.2 prove the efficiency of the proposed algorithm. The control signal (11) does not demand a distinct energy pumping into the system, and it is easy to see that it becomes 0, when the goal of control is achieved.

Nevertheless, the speed gradient also has some disadvantages: it may lead to a systematic error in the exact level of the target stabilization due to the dissipation effects under the acting control field. Therefore, for future studies we plan to investigate alternative approaches, for instance, Kolesnikov's target attractor feedback (Kolesnikov, 2013) to compare the pros and cons of different control algorithms.

The algorithm for the stabilization goal can be also extended for the case of tracking, when the target function (7) is time-dependent. Thus, our approach allows time-depending changing the populations of ChR2.

5. Conclusions

The proposed control algorithm covers the lack in theoretical non-linear feedback methods to drive the dynamics of ChR2 expressing neuron with the stimulating light. It is simple for the performance of real-time computations and could be easily adapted for different experimental setups.

Our approach can be useful for modeling different experimental problems of optogenetics, particularly, for driving the collective dynamics of neural cells in epilepsy, depression, and tumors of the central nervous system.

References

Camporeze, B., Manica, B. A., Bonafé, G. A., Ferreira, J. J. C., Diniz, A. L., Parisi de Oliveira, C. T., Mathias Jun., L. R., Pires de Aguiar, P. H., Ortega, M. M. (2018). Optogenetics: the new molecular approach to control functions of neural cells in epilepsy, depression and tumors of the central nervous system, *The American Journal of Cancer Research*, 8(10), 1900-1918.
www.ajcr.us /ISSN:2156-6976/ajcr0085158

Forli, A., Pisoni, M., Printz, Y., Yizhar, O., Fellin, T. (2021). Optogenetic strategies for high-efficiency all-optical

interrogation using blue-light-sensitive opsins, *eLife*, 10, e63359.

doi: 10.7554/eLife.63359

Fradkov, A. L. (2007). *Cybernetical Physics: From Control of Chaos to Quantum Control*, Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

www.springer.com/gp/book/9783540462750

Grossman, N., Nikolic, K., Toumazou, C., Degenaar, P. (2011). Modeling study of the light stimulation of a neuron cell with channelrhodopsin-2 mutants, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(6), 1742-1751.

doi: 10.1109/TBME.2011.2114883

Hegemann, P., Ehlenbeck, S., Gradmann, D. (2005). Multiple photocycles of channelrhodopsin, *Biophysical Journal*, 89, 3911-3918.

doi: 10.1529/biophysj.105.069716

Kolesnikov, A. A. (2013). *Synergetic Control Methods of Complex Systems*, 2nd ed., Moscow: URSS Publ.

https://library.bntu.by/sinergeticheskie-metody-

upravleniya-slozhnyimi-sistemami-energeticheskie-sistemy

Nagel, G., Szellas, T., Huhn, W., Kateriya, S., Adeishvili, N., Berthold, P., Ollig, D., Hegemann, P., Bamberg, E. (2003) Channel-rhodopsin-2, a directly light-gated cation-selective membrane channel, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 13940-13945.

doi: 10.1073/pnas.1936192100

Oprisan, S. A., Lynn, P. E., Tompa, T., Lavin, A. (2015). Reconstructing dynamical models from optogenetic data, *BMC Neuroscience*, 16, 143. doi: 10.1186/1471-2202-16-S1-P143

Williams, J. C., Entcheva, E. (2015). Optogenetic versus electrical stimulation of human cardiomyocytes: Modeling insights, *Biophysical Journal*, 108, 1934-1945.

doi: 10.1016/j.bpj.2015.03.032

Zou, L., Tian, H., Guan, S., Ding, J., Gao, L., Wang, J., Fang, Y. (2021). Self-assembled multifunctional neural probes for precise integration of optogenetics and electrophysiology, *Nature Communications*, 12, 5871.

doi: 10.1038/s41467-021-26168-0



Kanat Gövde Tipindeki Bir İnsansız Hava Aracının Yapısal Tasarımı ve Analizi

Aybuke Gökçen Yılmaz İlaslan^{1*}, İlyas Kandemir¹

^{1*}Makine Mühendisliği, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye, ORCID ID 0000-0001-9995-9163, aybukegokcenyilmaz@gmail.com

¹Makine Mühendisliği, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye, ORCID ID 0000-0002-8773-6541, kandemir@gtu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011249)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz İlaslan, A.G. & Kandemir, İ. (2021). Kanat Gövde Tipindeki Bir İnsansız Hava Aracının Yapısal Tasarımı ve Analizi. *European Journal of Science and Technology*, (28), 775-780.

Öz

Havacılık alanında İnsansız Hava Araçlarına (İHA) yönelik talep ve çalışmalar tüm dünyada ve ülkemizde gün geçtikçe artmaktadır. Kullanım amacına uygun olarak, bu araçların verimliliği giderek artmaktadır. Gelişmelerin daha da ilerlemesi için birçok ülke hala insansız hava aracı üzerine birçok araştırma ve çalışma yapmayı sürdürmektedir. Bu çalışmada ilk önce gerekli literatür araştırmaları yapılmış ve bu doğrultuda modellenecek olan kanat gövde tipindeki İHA'nın boyutu ve özellikleri belirlenmiştir. Polistiren Köpük malzemeden yapılan kanat gövde tipindeki bir İHA statik analizleri yapılmak üzere sonlu elemanlar metodu ile çalışan ANSYS Workbench programına aktarılmıştır. İHA modelimiz Epoxy Carbon UD, Epoxy E Glass UD ve Epoxy S Glass UD olmak üzere 3 farklı kompozit malzeme ile kaplanmıştır. Kaplanan malzeme kalınlıkları 0,23 mm ile 0,30 mm'dir ve 50 G ile 100 G gibi yüksek G değerleri uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde; model üzerindeki gerilmeler, güvenlik faktörü ve kaplanan kompozit malzemelerin üzerinde oluşan gerilmeler ile hasar kriteri incelenmiştir. Elde edilen verilerde kaplanan kompozit malzemenin yüksek G değerlerinde yapılan analizlerinde mukavemetinin tek katlı kaplamada bile yeterince yüksek olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İha, Kompozit Malzeme, Statik Analiz

Structural Design and Analysis of A Wing-Body Type Unmanned Aircraft

Abstract

Demand and studies for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in the field of aviation are increasing day by day all over the world and in our country. In accordance with the intended use, the efficiency of these tools is gradually increasing. In order to further progress, many countries still continue to conduct many researches and studies on unmanned aerial vehicles. In this study, firstly, the necessary literature research was carried out and the size and characteristics of the wing body type UAV to be modeled in this direction were determined. A wing body type UAV made of Polystyrene Foam material was transferred to the ANSYS Workbench program, which works with the finite element method, for static analysis. Our UAV model is covered with 3 different composite materials: Epoxy Carbon UD, Epoxy E Glass UD and Epoxy S Glass UD. The thickness of the coated material is between 0,23 mm and 0,30 mm, and analyzes were carried out by applying high G values such as 50 G and 100 G. In analysis; The stresses on the model, the safety factor and the stresses on the coated composite materials and the damage criterion were examined. In the analysis of the coated composite material at high G values in the obtained data, it has been shown that the strength is high enough even in a single layer coating.

Keywords: Uav, Composite Material, Static Analysis

1. Giriş

İHA gövde ve kanatlarında kullanılan malzemeler, kanat yapıları, kompozit malzemeler ve üretim yöntemleri ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir.

Literatürlere bakıldığında iha gövde kanat profillerinde verim sağlayan kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Birçok benzer çalışmalarda ise metal kullanımı olduğu incelenmiştir.

İha'ların düşük hızlarda dahi verimli çalışabilmesi için kanat geometrisi, malzemesi ve kanadın mukavemeti önemlidir.

Maliyet açısından daha ucuz ve geliştirilebilir olması nedeniyle İHA'lar askeri operasyonlar dışında günümüzde son zamanlarda sivil amaçlar için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, NACA 2308 kanat gövde profilinde, köpük malzemeden yapılmış olan modelimiz Epoxy Carbon UD, Epoxy E Glass UD ve Epoxy S Glass UD olmak üzere 3 farklı kompozit malzeme ile kaplanmıştır. 50 G ve 100 G gibi yüksek G değerleri

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Polistiren Köpük malzemesinden yapılan model, sabit hızda seyir halindeyken 50 G ve 100 G'lik sert çarpmaya maruz kaldığında üzerinden oluşan deformasyon ve güvenlik faktörü değerine bakılmıştır. Ardından 3 farklı kompozit malzeme ile kaplanmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. Deformasyon değeri ve hasar kriteri değeri polistiren köpük malzeme üzerinde yapılan analizde çok yüksek değerde iken, kompozit kaplama yapıldıktan sonra önemli ölçüde düşüş meydana geldiği gözlenmiştir. Kompozit malzeme olarak seçilen Epoxy S Glass UD, Epoxy E Glass UD ve Epoxy Carbon UD malzemeleri arasında 100 G ve 50 G değerlerinde en yüksek deformasyon değerine sahip olan malzeme Epoxy S Glass UD olarak görülmüştür. 50 G için tek kat kaplama sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 1. 23 mm 1 kat Epoksi Karbon Kaplama

Kalınlık	0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü	Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,22 mm	2,75 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,040 mm	0,089 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,22 mm	2,748 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,010 mm	0,0957 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	10,73	9,33
Kalınlık	0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü	Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,218 mm	2,539 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,040 mm	0,079 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,217 mm	2,537 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,008 mm	0,085 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	9,92	9,04

uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen verilere bakıldığında, köpük üzerine kaplanan kompozit malzemelerin mukavemetinin tek katlı kaplamada bile yeterince yüksek olduğu gösterilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma için öncelikli olarak insansız hava aracımızın kanat gövde tipindeki tasarımı belirlenmiştir. Bu tasarım belirlendikten sonra İHA modeli SolidWorks programı aracılığı ile modellenmiştir. Modellenen kanat gövde tipindeki İHA'nın analiz sonuçlarını elde edebilmek için model ANSYS Workbench programına aktarılmıştır. ANSYS Workbench'te tasarım şartları verilmiş ve ilgili malzeme tanımlamaları yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Ansys programında kompozit malzeme ile kaplanan model için ACP modüllerinden faydalanılmıştır. Modelin statik analizini gerçekleştirirken sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 2. 23 mm 1 kat Epoksi E Glass UD Kaplama

Kalınlık	0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,972 mm	3,283 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,053 mm	0,093 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,972 mm	3,282 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,034 mm	0,111 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	9	8,21
Kalınlık	0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,924 mm	3,088 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,053 mm	0,083 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,923 mm	3,087 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,030 mm	0,100 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	8,42	7,94

Tablo 3. 23 mm 1 kat Epoksi S Glass UD Kaplama

Kalınlık	0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,337 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,889 mm	3,559 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,052 mm	0,111 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,888 mm	3,557 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,030 mm	0,117 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	9,02	8,3
Kalınlık	0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,846 mm	3,343 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,052 mm	0,098 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,845 mm	3,341 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,027 mm	0,106 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	8,41	7,9

İki kat kaplama sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4. 23 mm 2 kat Epoksi Karbon Kaplama

Kalınlık	0,23 mm		0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,23 mm	2,31 mm	3,62 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,042 mm	0,067 mm	0,060 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,23 mm	2,31 mm	3,62 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,006 mm	0,073 mm	0,123 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	8,4	9,27	8,25
Kalınlık	0,30 mm		0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,26 mm	2,21 mm	3,46 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,044 mm	0,063 mm	0,059 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,26 mm	2,21 mm	3,46 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,006 mm	0,068 mm	0,113 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	7,63	8,73	7,72

Tablo 5. 23 mm 2 kat Epoksi E Glass UD Kaplama

Kalınlık	0,23 mm		0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,90 mm	2,88 mm	4,00 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,054 mm	0,072 mm	0,070 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,90 mm	2,88 mm	4,00 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,025 mm	0,088 mm	0,131 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	7,05	7,35	6,95
Kalınlık	0,30 mm		0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,92 mm	2,81 mm	3,88 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,056 mm	0,068 mm	0,069 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,92 mm	2,81 mm	3,88 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,022 mm	0,083 mm	0,122 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	6,24	6,72	6,3

Tablo 6. 23 mm 2 kat Epoksi S Glass UD Kaplama

Kalınlık	0,23 mm		0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü	2 Kat S Glass Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,83 mm	3,12 mm	4,64 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,054 mm	0,083 mm	0,074 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,83 mm	3,11 mm	4,64 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,022 mm	0,093 mm	0,165 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	7,05	7,3	6,78
Kalınlık	0,30 mm		0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü	2 Kat S Glass Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	72,39 mm	1,85 mm	3,03 mm	4,48 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,36 mm	0,056 mm	0,077 mm	0,074 mm
Y Yönlündeki deformasyon	72,38 mm	1,85 mm	3,03 mm	4,48 mm
Z Yönlündeki deformasyon	2,73 mm	0,020 mm	0,087 mm	0,154 mm
Güvenlik Faktörü	0,778	6,24	6,66	6,31

100 G için tek kat kaplama sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 7. 23 mm 1 kat Epoksi Karbon Kaplama

Kalınlık	0,23 mm		0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg	0,141 kg + 0,150 kg = 0,291 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	Kaplama /90 derece fiber yönlü	Kaplama /45 derece fiber yönlü	Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	2,452 mm	5,500 mm	8,779 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,080 mm	0,179 mm	0,138 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	2,451 mm	5,496 mm	8,778 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,020 mm	0,191 mm	0,330 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	5,36	4,81	4,66
Kalınlık	0,30 mm		0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg	0,184 kg + 0,150 kg = 0,334 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	Kaplama /90 derece fiber yönlü	Kaplama /45 derece fiber yönlü	Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	2,436 mm	5,079 mm	8,049 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,081 mm	0,158 mm	0,130 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	2,435 mm	5,075 mm	8,048 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,017 mm	0,170 mm	0,292 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,96	4,91	4,52

Tablo 8. 23 mm 1 kat Epoksi E Glass UD Kaplama

Kalınlık	0,23 mm		0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,945 mm	6,567 mm	9,193 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,106 mm	0,187 mm	0,152 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,944 mm	6,564 mm	9,192 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,069 mm	0,222 mm	0,334 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,5	4,1	4
Kalınlık	0,30 mm		0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü	1 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,848 mm	6,177 mm	8,608 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,106 mm	0,167 mm	0,146 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,847 mm	6,174 mm	8,607 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,060 mm	0,201 mm	0,301 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,21	3,97	3,79

Tablo 9. 23 mm 1 kat Epoksi S Glass UD Kaplama

Kalınlık	0,23 mm		0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,337 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg	0,189 kg + 0,150 kg = 0,339 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü	1 Kat S Glass Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,778 mm	7,119 mm	10,799 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,104 mm	0,223 mm	0,164 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,777 mm	7,114 mm	10,798 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,061 mm	0,235 mm	0,417 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,51	4,15	3,804
Kalınlık	0,30 mm		0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg	0,247 kg + 0,150 kg = 0,397 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	1 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	1 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü	1 Kat S Glass Kaplama /0 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,692 mm	6,687 mm	10,07 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,104 mm	0,196 mm	0,156 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,691 mm	6,683 mm	10,069 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,054 mm	0,213 mm	0,378 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,2	3,95	3,65

İki kat kaplama sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 10. 23 mm 2 kat Epoksi Karbon Kaplama

Kalınlık	0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg	0,282 kg + 0,150 kg = 0,432 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	2,47 mm	4,62 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,085 mm	0,135 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	2,47 mm	4,62 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,013 mm	0,147 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,2	4,63
Kalınlık	0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg	0,368 kg + 0,150 kg = 0,518 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoksi Karbon Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	2,52 mm	4,43 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,088 mm	1,126 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	2,52 mm	4,43 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,012 mm	0,137 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,81	4,36

Tablo 11. 23 mm 2 kat Epoksi E Glass Kaplama

Kalınlık	0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,81 mm	5,77 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,109 mm	0,145 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,81 mm	5,77 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,050 mm	0,177 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,52	3,67
Kalınlık	0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat Epoxy E Glass UD Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,848 mm	6,177 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,106 mm	0,167 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,847 mm	6,174 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,060 mm	0,201 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	4,21	3,97

Tablo 12. 23 mm 2 kat Epoksi S Glass Kaplama

Kalınlık	0,23 mm	0,23 mm	0,23 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg	0,379 kg + 0,150 kg = 0,529 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,67 mm	6,24 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,108 mm	0,167 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,66 mm	6,23 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,044 mm	0,187 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,52	3,65
Kalınlık	0,30 mm	0,30 mm	0,30 mm
Ağırlık	0,150 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg	0,494 kg + 0,150 kg = 0,644 kg
0 derece atak açısı	Polistiren Köpük Malzemesi	2 Kat S Glass Kaplama /90 derece fiber yönlü	2 Kat S Glass Kaplama /45 derece fiber yönlü
Total Deformasyon	147,73 mm	3,70 mm	6,07 mm
X Yönlündeki deformasyon	0,74 mm	0,112 mm	0,154 mm
Y Yönlündeki deformasyon	147,71 mm	3,70 mm	6,06 mm
Z Yönlündeki deformasyon	5,58 mm	0,040 mm	0,175 mm
Güvenlik Faktörü	0,381	3,12	3,33

Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 50 G'lik ivme uygulandığında tek kat malzeme için bulgular;

• Kaplama malzemelerinin fiber açılara göre deformasyonlara bakıldığında, üç kaplama malzemesi için de en yüksek deformasyonlar 0 derece fiber açısında yapılan analizlerde ortaya çıkmıştır.

• 50 G ivme ile yapılan analizde göze çarpan noktalardan bir tanesi şu olmuştur; yukarıda belirtildiği gibi en fazla deformasyonun meydana geldiği malzeme tipi Epoxy S Glass UD olarak belirtilmişti lakin 90 derece fiber açısındaki deformasyonlarda Epoxy E Glass UD malzemesinin deformasyon

değeri, Epoxy S Glass UD malzemesinde meydana gelen deformasyon değerinden daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı zamanda güvenlik faktörüne bakıldığında Epoxy E Glass UD malzemesindeki değer, Epoxy S Glass malzemesindeki değerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Burada beklenen sonuç, aynı kalınlıkta yapılan malzeme sonuçlarına göre deformasyon değeri yüksek olan malzeme tipinde güvenlik faktörünün daha düşük olmasıdır. Sonuçlar bize bunun tersini göstermiştir ve bu da kompozit malzemelerin yapısal olarak değişkenlik gösterdiğinin kanıtıdır.

Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 50 G'lik ivme uygulandığında iki kat malzeme için bulgular;

• 50 G ivme uygulanarak tek kat malzeme kaplanarak yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında her malzeme tipi için iki kat kaplama sonuçlarında deformasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

• Her üç kaplama malzemesi için de ortak bir sonuç göze çarpmaktadır. 90 derece fiber açısı kullanılarak yapılan kaplama sonuçlarında; 0,23 mm ile yapılan kaplamalardaki deformasyonun, 0,30 mm ile yapılan kaplamadaki deformasyondan daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuç da bize kompozit malzeme özelliklerinin değişken olduğunu göstermiştir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 100 G'lik ivme uygulandığında tek kat malzeme için bulgular;

• 50 G olarak uygulanan ivme değerine göre 100 G ivme değerinde deformasyon değerlerinde artış meydana gelmiştir ve buna bağlı olarak güvenlik faktöründe azalmalar görülmüştür.

• Kaplanan malzeme kalınlığı arttıkça deformasyon değerlerinde düşüş meydana gelmiş ve malzeme kütlesindeki artış nedeniyle de güvenlik faktörlerinde azalma görülmüştür.

Yapılan analiz sonuçlarına göre model üzerine 100 G'lik ivme uygulandığında iki kat malzeme için bulgular;

• 100 G ivme uygulanarak tek kat malzeme kaplanarak yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında her malzeme tipi için iki kat kaplama sonuçlarında deformasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

• Epoxy Carbon UD malzemesinde 90 derece fiber açısında yapılan analizde 0,30 mm kalınlıkta, 0,23 mm kalınlığa göre deformasyonun daha yüksek olduğu görülmüştür. Kompozit malzemelerin farklı özellik göstermesinin neticesinde bu sonuca ulaşılmıştır.

• Epoxy E Glass UD malzemesinde; 0 derece, 45 derece ve 90 derece fiber açılarında yapılan analizlerde ise tüm fiber açılarında 0,30 mm kalınlıktaki deformasyon değerlerinin, 0,23 mm kalınlıktaki deformasyon değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı şekilde kompozit malzemenin farklı davranışlar sergilemesinin bir sonucu olarak bu veriler elde edilmiştir.

Epoxy S Glass UD malzeme ise Epoxy Carbon UD malzemesiyle benzer olarak sadece 90 derece fiber açısında 0,30 mm kaplamadaki deformasyonun 0,23 mm kaplamadaki deformasyondan daha yüksek olduğu görülmüştür. Kompozit malzemenin farklı özellik sergilemesi sonucunda aynı şekilde sonuca ulaşılmıştır.

A. Kompozit Malzemelerin Avantajları

• Yüksek mukavemet : Kompozit malzemeler yüksek mukavemete sahip malzemeler arasında en etkin olanlardan biridir.

• Hafiflik : Kompozitler, takviyesiz plastikler ve metallere göre birim alan ağırlığında daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir.

• Tasarım esnekliği : Kompozitler her türlü basit, karmaşık, geniş, küçük, yapısal, estetik, dekoratif yada fonksiyonel amaçlı olarak tasarlanabilir.

• Boyutsal stabilite : Termoset kompozitler çeşitli mekanik baskılar altında şekillerini ve işlevselliklerini korurlar.

• Yüksek Dielektrik Direnimi : Kompozitler elektrik yalıtım özellikleri sayesinde göze çarpan malzemelerdir. birçok komponent'in üretiminde tercih sebebidir.

• Korozyon dayanımı : Kompozitler antikorozyif özellikleri sayesinde diğer malzemelerden daha üstündür.

• Kalıplama kolaylığı : Kompozit ürünler, kalıplama işleminin tek parçada yapılması nedeniyle çelik gibi geleneksel malzemelerde karşılaşılan birçok parçanın birleştirilmesi ve sonradan monte edilmesi gibi işlemleri ortadan kaldırmaktadır.

• Yüzeysel uygulamaları : Kompozit ürünlerde kullanılan polyester reçine, özel pigment katkıları ile renklendirilerek, kendinden renkli olarak da üretilebilir.

• Şeffaflık özelliği : Kompozitler, cam kadar ışık geçirgen olabilir. Tam şeffaf olması nedeni ile ışığı yayması sayesinde, diffüze ışığın önem kazandığı seralarda ve güneş kolektörü yapımında önemli avantaj sağlar.

• Beton yüzeylere uygulama imkanı : Kompozitler beton yüzeylere iyi yapışır. Özellikle, betonun gözenekli olması nedeniyle, kompoziti oluşturan ana malzemelerden polyester reçinenin beton gözeneklerinden sızması ve beton kütle içinde sertleşmesinden dolayı mükemmel bir yapışma meydana gelir.

Ahşap yüzeylere uygulama imkanı : Kompozitlerin ahşap yüzeylere yapışma özelliği vardır. Bunun için ahşap malzemenin kuru olması gerekir. Ayrıca stiren ihtiva eden polyester reçine ile iyi bir şekilde emdirilmesi gereklidir.

• Demir yüzeylere uygulama imkanı : Demir yüzeydeki pas ve yağ kalıntılarını temizlendikten sonra kompozitlerle kaplanabilir ve böylece demir ve çelik yüzeyler, korozyon etkilerinden korunurlar.

• Yanmazlık özelliği : Kompozitlerin alev karşı dayanımı, kullanılan polyesterin özelliğine bağlıdır. Alev dayanım özelliği isteniyorsa "Alev dayanımlı" polyester seçilmelidir.

• Kompozitler sıcaklıktan etkilenmez : Kompozit ürünler, termoset plastikler grubundan polyester reçineler ile yapıldığı için

4. Sonuç

Analiz sonuçları göstermektedir ki; malzeme özelliklerine bağlı olarak her bir parametre analiz sonuçlarına etki etmektedir. Kompozit malzeme kullanılarak yapılan analizlerde, malzeme üzerinde oluşan deformasyonların gözle görülür şekilde düşmesi bizlere kompozit malzemenin önemini bir kez daha göstermiştir.

Ayrıca kompozit malzemelerin farklı davranışlar göstermesinin neticesi olarak bu özellikler malzeme üzerinde kompozit olarak kullanılacak bölgelerin bölümlere ayrılarak, malzemenin gösterdiği karakteristiğe göre de ilgili bölgede kullanım olanağı sağlamaktadır.

Bir diğer çıkarılan sonuç ise, kompozit malzemelerin farklı karakteristik göstermesi neticesinde, kullanılması planlanan malzemenin, model üzerindeki yere bağlı olarak çok daha fazla araştırılması ve analiz yapılması gerekliliğidir.

yumuşamaz ve şekil değiştirmez. Isı dayanıklılığı kullanılan polyester reçinenin cinsine bağlıdır.

• Kompozitler içine farklı malzemeler gömülebilir : Kompozitlerin içine demir, ahşap, halat, tel, mukavva, poliüretan sert köpük gibi malzemeler gömülerek mekanik özellikleri değiştirilebilir.

• Tamir edilebilirlik özelliği : Tamir işleri bir kalıp üzerinde yapılırsa tamir izleri görünmez veya tamir sonrası boya veya zımpara yapılması gerekebilir.

• Kompozitler kesilip delinebilir : Kompozitler, tahta gibi kolayca kesilir, delinir, zımparalanır. Bu amaçla kullanılan aletlerin sert çelik veya elmas uçlu olması halinde daha iyi sonuç alınmaktadır.

• Çatlak ilerlemesi olayı minimize edilmiştir.

• Titreşimleri absorbe edilme özelliği sağlanmıştır.

• Kompozitlerden bazıları çok yüksek akma sınırı (akma gerilmesi) değerlerine sahiptir. [40]

B. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

• Metallere yapışmazlar. Fırınlamadan (pişirmeden) kullanılamazlar.

• Değişik doğrultularda değişik mekanik özelliklere sahiptir.

• Aynı kompozit malzemeler için çekme, basma, kesme, eğilme mukavemet değerleri farklıdır

• Elyaf doğrultusundaki elastik modülü, elyafa dik doğrultudaki elastik modülünden daha büyüktür.

• Üretimi pahalıdır.

• Nem ve hava zerrecikleri, kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkiler.

• Delik delme ve kesme türü işlemler liflerde açılmaya yol açmaktadır

• Malzeme maliyeti yüksektir

• Belirlenmiş dizayn kurallarının eksikliği

• Metal ve kompozit tasarımları nadiren değiştirilebilir

• Geliştirme süreleri uzundur

• Birleştirici, vida/civata v.b., var olduğu için maliyetlidir

• Solvent/nem etkisi

• Kullanılabildiği sıcaklık limitleri

• Darbelere karşı hassastırlar [41]

Kaynakça

[1]Kong, C., Bang, J., Sugiyama, Y., Structural Investigation of Composite Wind Turbine Blade Considering Various Load Cases and Fatigue Life, Energy, Vol.30, Pages 2101-2114, 2005

[2]Bechly, M.E., Clausen, P.D., Structural Design of a Composite Wind Turbine Blade Using Finite Element Analysis, Computers & Structures, Vol. 63, Pages 639-646, 1997.

[3] Avcı, B., Yılmaz, T.B., Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 2012. sf.5-37

[4] Gülbahar, Ö., "Karayel İnsansız Hava Aracının Statik Ve Dinamik Analizleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-4 (2015).

[5] Vardar, A. ve Eker, B., "Rüzgar Türbinlerinde Uygun kanat Tipinin Seçilmesi".2004

[6] Scherer, R., Blade Design Aspects, Renewable Energy, Vol.16, Pages 1272-1277, 1999.

- [7]Habali, S.M., Saleh, I.A., Local Design, Testing and Manufacturing of Small Mixed Airfoil Wind Turbine Blades of Glass Fiber Reinforced Plastics Part I: Design of the Blade and Root, Energy Conversion & Management, Vol. 41, Pages 249-280, 2000.
- [8]Habali, S.M., Saleh, I.A., Local Design, Testing and Manufacturing of Small Mixed Airfoil Wind Turbine Blades of Glass Fiber Reinforced Plastics Part II: Manufacturing of Blade and Rotor, Energy Conversion & Management, Vol.41, Sf. 281-298, 2000.
- [9] Yang, J., Peng, C., Xiao, J., Zeng, J., Xing, S., Jin, J., Deng, H., Structural Investigation Of Composite Wind Turbine Blade Considering Structural Collapse İn Full-Scale Static Tests, Composite Structures, Vol.97, 15-29, 2013.
- [10] Grogan, D.M., Leen, S.B., Kennedy, C.R., Bradaigh, C.M., Design of Composite Tidal Turbine Blades, Renewable Energy, Vol.57, 151-162, 2013.
- [11] Tseng, Y.C., Kuo, C.Y., Engineering and Construction Torsional Responses of Glass-Fiber/Epoxy Composite Blade Shaft for a Small Wind Turbine, Procedia Engineering, Vol. 14, Pages 1996-2002, 2011.
- [12] Uysal, A., Rüzgar Türbini Kanat Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [13]Shokrieh, M.M., Rafiee, R., Simulation of Fatigue Failure in a Full Composite Wind Turbine Blade, Composite Structures, vol. 74, 332-342, 2006.
- [14] Chen, X., Zhao, W., Zhao, X.L., Xu, J.Z., Preliminary Failure Investigation of a 52.3 m Glass/Epoxy Composite Wind Turbine Blade, Engineering Failure Analysis, 44, 345-350, 2014.
- [15]<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/400203>“Selçuklu.ÜniversitesiMüh. Bilim ve Tekn. Derg., c.5, s.4, ss. 511-535, 2017”
- [16]İnternet: Karaağaç, C., “İnsansız Hava Aracı Sistemleri: Gökyüzünün Yeni Yırtıcı Kuşları”, [https://www.academia.edu/2004387/İnsansız Hava Aracı Sistemleri Gökyüzünün Yeni Yırtıcı Kuşları](https://www.academia.edu/2004387/İnsansız_Hava_Aracı_Sistemleri_Gökyüzünün_Yeni_Yırtıcı_Kuşları) (2004).sf 1/8
- [17]https://www.academia.edu/9199556/%C4%B0nsans%C4%B1z_Hava_Ara%C3%A7lar%C4%B1_Muharebe_Alan%C4%B1nda_ve_Ter%C3%B6rle_M%C3%BCadelede_Devrimsel_D%C3%B6n%C3%BCm%C5%9F%C3%BCm_?auto=download
- [18]<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1167969>
- [19] Orkan Özcan Deniz Bilge Demir Semih Sami Akay İha araçları ve Yer Bilimleri Kitabı OCAK/2019 sf.10-20
- [20] 14. ULUSLARARASI MEB ROBOT YARIŞMASI İNSANSIZ HAVA ARACI (Mini Drone) KATEGORİSİ YARIŞMA KURALLARI, Şanlıurfa,2021
- [21] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü-İnsansız Hava Aracı Talimatı(SHT-İHA) 2016 22/02/2016 sf.4 http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/2019/IHA_talimatı_revizyon3.pdf
- [22] ElKholly, H., 2014. Dynamic Modeling and Control of a Quadrotor Using Linear and Nonlinear Approaches, Master Thesis, The American University In Cairo, School of Sciences and Engineering, Cairo, pp. (6-12, 64).
- [23]Geleceğin Hava Kuvvetleri:2016-2050 Sektör Değerlendirme Raporu Şubat'16, Future Technology Institute
- [24] İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler Ekim/2012 https://www.researchgate.net/publication/292669083_İnsansız_Hava_Araçlarının_Kullanım_Alanları_ve_Gelecekteki_Beklentiler(Eisenbeiss, H. 2009). Sf.4
- [25] ISSN: 1307-9905 E-ISSN: 2602-2133 Sayı Issue 32, Cilt Volume 12, 2021-1, 242-267 DOI: 10.31198/idealkent.817201
- [26] İnsansız Hava Araçları Ercan CANER-212 Kış Cilt: 1 Sayı: 1 Millî Güvenlik ve Askerî Bilimler Kış 2013-2014 • Cilt: 1 • Sayı: 222-225
- [27]SAKARYA MESLEK YÜKSEKOKULU MAKİNA VE METAL TEKNOLOJİLERİ BÖLÜMÜ METALURJİ PROGRAMI, KOMPOZİT MALZEMELER DERS NOTU, ONAT A., Sakarya, 2015
- [28]<https://www.muhendisbeyinler.net/kompozit-malzemeler-ve-kullanim-alanlari/>
- [29] Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan Kaya-Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Temmuz/2016
- [30]<https://arkipedia.net/kompozit-malzemelerin-ozellikleri-ve-siniflandirilmesi/>
- [31]<https://www.serdarkorkut.com/2017/01/22/kompozit-malzemeler/>
- [32]<https://docplayer.biz.tr/68711544-Kompozit-malzemeler-ve-mekanigi-yrd-doc-dr-akin-atas.html>
- [33]<https://tolgakaranfil.webnode.com.tr/products/kompozit-malzemeler%2C-s%C4%B1n%C4%B1fland%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1-ve-uretimi/>
- [34] <http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/1019-termoplastik-ve-termoset-plastikler>
- [35] <http://accluster.com/kompozit-malzemelerin-yapisi/>
- [36] <https://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkinda-hersey/>
- [37]<https://www.ceylankompozit.com/tr/%C3%BCretimde-kullan%C4%B1lan-malzemeler~33>
- [38]<http://teknikbil.blogspot.com/2013/11/polimer-malzemeler-ve-ozellikleri.html>
- [39] Nano Kompozitler
- [40]<https://www.solvekimya.com/site/makaleler/detaylar/kompozit-malzeme.html>
- [41]<https://www.metalurjik.com/kompozit-malzemelerin-avantaj-ve-dezavantajlari>
- [42] HALİL İBRAHİM İŞLEK · PUBLİŞED AĞUSTOS 16, 2020 · UPDATED AĞUSTOS 18, 2020
- [43] <https://kompozitkimya.com.tr/kompozit-nedir/>
- [44] STATİK YÜKLER ALTINDA BİR A320 UÇAK KANADININ KOMPOZİT MALZEMELER İLE TASARIMI VE ANALİZİ, Günay Ö., Gaziantep Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2019
- [45] <https://www.ceyrekmuhendis.com/sonlu-elemanlar-analizi-nedir/>
- [46]<https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/08/04/havacilik-sektorunde-kompozit-malzeme-kullanimi/>
- [47]<https://www.tusas.com/urunler/iha/operatif-stratejik-ihaisistemleri/anka>
- [48] <https://www.militaryfactory.com/>
- [49] <https://www.aircraftnerds.com/2016/06/aircraft-wing-configuration.html>
- [50] https://tr.esc.wiki/wiki/NACA_airfoil



Determination of Rheological Properties and Dispersion Quality of Shear Thickening Fluid

Cenk Yanen¹, Murat Yavuz Solmaz², Ercan Aydoğmuş^{3*}

¹ Firat University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5092-8734), cyanen@firat.edu.tr

² Firat University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6394-0313), mysolmaz@firat.edu.tr

^{3*} Firat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1643-2487), ercanaydogmus@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011245)

ATIF/REFERENCE: Yanen, C., Solmaz, M.Y. & Aydoğmuş, E. (2021). Determination of Rheological Properties and Dispersion Quality of Shear Thickening Fluid. *European Journal of Science and Technology*, (28), 781-784.

Abstract

In this research, the rheological properties of non-Newtonian shear thickening fluid (STF) composed of nano-sized solid particles have been investigated. The best conditions have been determined by optimizing both the experimental production method and the rheological measurement system of STFs. Mechanical, ultrasonic, and both mechanical and ultrasonic mixing methods were used in the production of STFs that nano-sized silica particle (solid: aerosil) and polyethylene glycol (liquid medium: PEG). Also, the spacing between the plates was changed during the rheological measurements and the effect on the rheological character of the suspension was also compared. Although the best homogenization was obtained with the ultrasonic mixer in the produced STFs, the lowest performance was observed in the rheological measurements of these samples. In STFs obtained at high mixing speed with a mechanical mixer, the viscosity of the fluid increased abruptly with increasing shear rate. In the measurements, it was observed that the gap change between the parallel plates did not affect the rheological characteristics much.

Keywords: Shear thickening fluid, Aerosil, Polyethylene glycol, Rheology, Optimization.

Kayma Altında Katılaştan Sıvıların Reolojik Özelliklerinin ve Dispersiyon Kalitesinin Belirlenmesi

Öz

Kayma altında katılaştan sıvılar (KAKS), sıvı ortamda dağıtılmış nano boyutlu katı partiküllerden oluşan Newtonyan olmayan özel bir akışkan çeşididir. KAKS'ların viskozitesinde artan kayma hızı ile birlikte ani bir artış görülür, sahip oldukları bu özellik tersinirdir ve viskoziteyi artıran gerilim ortadan kalktığında viskoziteleri ilk hallerine geri döner. KAKS'ların üretimi için katı ortam olarak kullanılan silika partiküller polietilen içerisinde üç farklı yöntem kullanılarak dağıtılmış ve üretim yönteminin dispersiyon kalitesine ve reolojik özelliklere olan etkisi incelenmiştir. Reolojik ölçümler sırasında plakalar arasındaki boşluk da değiştirilmiş ve süspansiyonun reolojik karakterine olan etkisi gözlenmiştir. Yapılan incelemelerde dispersiyon kalitesi en yüksek numunelerin ultrasonik karıştırıcı kullanılarak yapılanlar olduğu ancak reolojik özellikleri negatif etkilediği tespit edilmiştir. Reolojik ölçümlerde paralel plakalar arasındaki boşluk değişiminin grafik karakteristiğine etki etmediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayma altında katılaştan sıvı, Aerosil, Polietilen glikol, Optimizasyon.

1. Introduction

Shear thickening fluids (STFs) are non-Newtonian suspensions that exhibit a sudden increase in viscosity with increasing shear rate. This property of STFs is reversible, and when the tension that increases the viscosity is removed, the liquids can return to their original state. A lot of research has been done to understand the rheological properties of these fluids and to use them in engineering applications. To understand the solidification mechanisms of STFs, in Hoffman's study, it was stated that before the critical shear stress, the solid particles in the suspension were in hexagonal-shaped clusters, and when this stress was exceeded, the particle arrangement was disrupted and irregular aggregations [1,2]. In another study, it is stated that the solidification mechanism is formed as a result of the hydrodynamic forces occurring between the hydroclusters. According to this study, strong hydrodynamic forces occur in the suspension under high stresses and thus the particles come into contact with each other. As a result, hydroclusters are formed as a result of the agglomeration of many particles in the suspension. This theory, called the Hydrocluster Theory, has been confirmed by many studies and is generally accepted in explaining the solidification mechanism of STFs [3,4].

Shear thickening fluids, due to this special behavior; it has been used in many areas such as armor systems [5–9], energy absorbers [10,11], and vibration-damping units [12,13].

Sun et al. have been observed that the application of ultra-high molecular weight polyethylene to fabrics as STFs have a protective effect even in low-speed impact tests. After the application of STFs, it was determined that the energy absorption capacity of the fabrics increased in tests using both knife and nail tips [14]. Baharvandi et al. have been investigated the effect of STFs impregnation on Twaron para-aramid fabric on quasi-static puncture resistance. For the production of STFs, silica particles in the size range of 12 to 60 nm were added to PEG 200 and mixed mechanically at a mixing speed of 5700 rpm until the suspension became homogeneous. The solid particle ratio in the suspension has been preferred as 15 wt.%, 25 wt.%, and 35 wt.%. It has been found that the impregnation of Twaron fabrics with STFs increases energy dissipation compared to clean fabrics [15].

Xu et al. have been investigated the use of STFs to increase stab resistance in the body armor. As a result of the investigations, they have seen that it is possible to obtain more protective materials with lower weight and less volume when STFs impregnated panels are used against knife impact [16].

The rheological properties of STFs can vary according to the physical conditions of solid media, liquid media, and suspension. The type and proportion of solid particles in suspension are some of the main parameters that decide the behavior of STFs. If this ratio is below a certain value, the solidification behavior of STFs may not be observed. It is known that the complex viscosity values of the suspensions increase rapidly as the solid particle ratio increases and decrease when the critical shear ratio is reached [17]. Particle size in suspension has significant effects on critical shear rate and viscosity profile. It has been reported that as the silica particle size increases, the critical shear ratio decreases, and the viscosity profile increases [17,18].

The effect of particle hardness on the rheological behavior of suspension has been studied by Kalman et al. In this research, it has been determined that the performance of hard particles was

better when compared to producing STFs from soft and hard particles [19].

The effect of the liquid medium in the suspension on the rheological properties has been studied by many researchers. Increasing the molecular weight of polyethylene glycol used as a liquid medium also increased the viscosity of the suspension. It is known that factors such as temperature, mixing speed, and environmental conditions other than the materials that make up the suspension affect the rheological properties [18,20,21]. In the study by Gürgen, the rheological properties of STFs with 20 wt.% silica content have been investigated depending on the temperature, and it is evaluated that increasing the temperature decreases the suspension viscosity [22].

This research aims to determine the effect of the production method on the dispersion quality in obtaining the shear thickening fluids. In the experimental study, the production of STFs has been carried out with three different methods. The production method of STFs; made using mechanical, ultrasonic, and both mechanical and ultrasonic stirrers. With the optimization studies, both the experimental conditions for the production of STFs and the maximum rheological performance evaluation have been made. Also, the effect of shear rate operating range and the distance between parallel plates in the rheology device on complex viscosity measurements are discussed.

2. Material and Method

Two different fumed silica (aerosil 150, and aerosil 200 from Evonik) were used as solid particles for the production of STFs. Two different densities of polyethylene glycols (PEG 300 and PEG 400) were chosen as the liquid medium. Since shear thickening fluid-behavior may not be observed in suspensions with low solid particle concentrations, 20 wt.% and 25 wt.% solid particle ratios were preferred as in previous studies [17,23]. The properties determined by the manufacturer of the materials used in the production of STFs are given in Table 1 and Table 2.

Table 1. Properties of silica nanoparticles

Properties	Aerosil 150	Aerosil 200
Surface area (m ² /g)	150	200
Particle diameter (nm)	14	12
Tamped density (kg/m ³)	43	50
SiO ₂ content (%)	99.8	99.8

Table 2. Properties of polyethylene glycol

Properties	PEG 300	PEG 400
Molecular weight (g/mol)	300	400
Density (kg/m ³)	1125	1130
Flash temperature (°C)	220	305

In the first stage of sample production, silica particles have been dried in an oven at 150 °C for approximately 12 hours. To prepare STFs samples, polyethylene glycols and silica particles were mixed with different homogenization methods. Mechanical (M), ultrasonic (U), and both mechanical and ultrasonic (M+U) mixing processes were applied in the production of suspensions. Mechanical mixing was done with a high-speed mechanical mixer at 6000 rpm. The ultrasonic mixing process was carried out with SONOPULS HD 2200 model ultrasonic mixer at 20 kHz frequency. During the mixing process, silica particles were added

gradually to prevent aggregation, as suggested in previous studies [17,24,25]. Mixing was carried out in a temperature-adjustable water bath to prepare suspensions (Fig. 1). In the study, the plan to examine the effect of both the production method and the gap between the plates in the rheological measurements is given in Table 3.

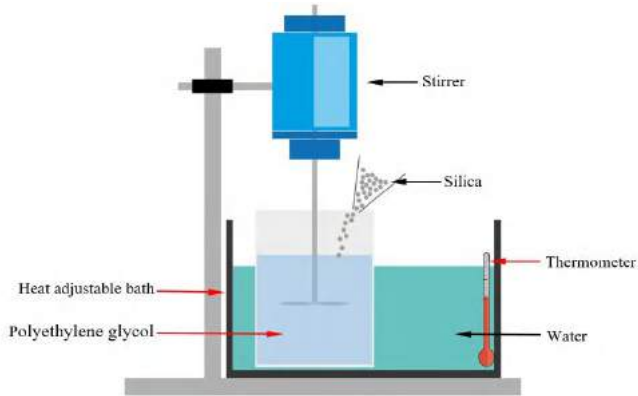


Fig. 1. Example of an image

Table 3. Sample production plan

Factors	Mixture	Ratio	Method
Mixing	PEG 300 + Aerosil150	20 %	M (90 min)
		20 %	M+U (60+15 min)
		20 %	U (30 min)
Gap Effect	Aerosil 150 +PEG 400	25 %	M (0.2 mm)
			M (0.3 mm)
	Aerosil 200 +PEG 400		M (0.2 mm)
			M (0.3 mm)

3. Results and Discussion

The rheological properties of STFs have been determined using the Anton Paar MCR 102 tension-controlled rheometer shown in Fig. 2. The tests were carried out using a 25 mm diameter parallel plate apparatus. During the testing process, the liquids were placed in the interior between the upper and lower measuring plates. The gap between the plates was chosen as 0.2 and 0.3 mm and all tests were carried out at 25 °C. Rheological measurements were repeated 2 times for each sample in the range of 0-1000 s⁻¹ shear rate.



Fig. 2. Anton Paar MCR 102 Rheometer

The variation of the complex viscosity of STFs produced by different methods with shear rate is shown in Fig. 3. The best results were obtained with mechanical mixing in STFs prepared by ultrasonic (U), mechanical (M), both mechanical and ultrasonic (M+U) methods.

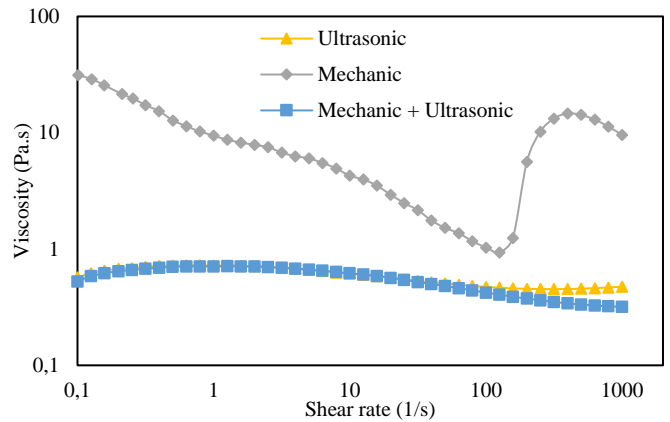


Fig. 3. Effect of production of STFs by different methods on viscosity

In Figure 4, the effect of the spacing between the parallel plates in the rheology equipment on the measurement results is compared. When the test results of STFs samples prepared in different compositions have been evaluated, it is seen that the gap between the plates did not change the rheological measurements much.

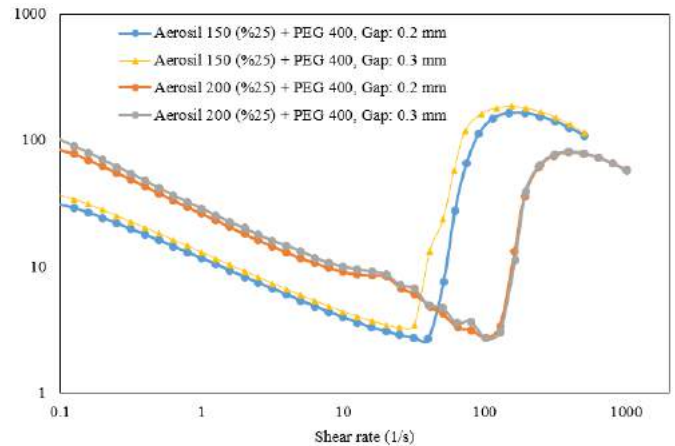


Fig. 4. Effect of spacing between parallel plates on viscosity measurements of STFs

4. Conclusions and Recommendations

According to the results obtained, the best performance in the STFs produced was seen in the sample prepared with 6000 rpm mechanical stirring for 90 minutes. According to the behavior of the shear-thickening fluid, maximum stress and viscosity values were reached at high shear speed. In the rheological measurement results, it was determined that the performance of STFs increased as the molecular weight of polyethylene glycol and the particle diameter of the aerosil increased. The most ideal mixing ratio has been obtained by adding 25% by mass of solid particles (aerosil). In the measurements, it was observed that the gap change between the parallel plates did not affect the rheological results of STFs much. Besides, it is recommended to gradually add aerosil to the high-speed mechanical mixing system in the prepared mixtures.

5. Acknowledge

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Firat University. Project number MF.19.44. The author Cenk Yanen also acknowledges the support of the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) under Program 2211/C.

References

- R.L. Hoffman, *Discontinuous and Dilatant Viscosity Behavior in Concentrated Suspensions*--1. Observation of a Flow Instability, *Trans Soc Rheol.* 1972.
- R.L. Hoffman, *Discontinuous and dilatant viscosity behavior in concentrated suspensions.* II. Theory and experimental tests, *J. Colloid Interface Sci.* 1974.
- W.H. Boersma, J. Laven, H.N. Stein, *Viscoelastic properties of concentrated shear-thickening dispersions,* *J. Colloid Interface Sci.* 1992.
- G. Bossis, J.F. Brady, *The rheology of Brownian suspensions,* *J. Chem. Phys.* 1989.
- V.A. Chatterjee, S.K. Verma, D. Bhattacharjee, I. Biswas, S. Neogi, *Enhancement of energy absorption by incorporation of shear thickening fluids in 3D-mat sandwich composite panels upon ballistic impact,* *Compos. Struct.* 225, 2019.
- S. Arora, A. Majumdar, B.S. Butola, *Structure induced effectiveness of shear thickening fluid for modulating impact resistance of UHMWPE fabrics,* *Compos. Struct.* 210: 41–48, 2019.
- A. Majumdar, A. Laha, D. Bhattacharjee, I. Biswas, S. Verma, *Soft body armour development by silica particle based shear thickening fluid coated p-aramid fabrics,* *J. Text. Inst.* 110: 1515–1518, 2019.
- Y.H. Kim, S.K. Sathish Kumar, Y. Park, H. Kwon, C.G. Kim, *High-velocity impact onto a high-frictional fabric treated with adhesive spray coating and shear thickening fluid impregnation,* *Compos. Part B Eng.* 185, 2020.
- L. Liu, Z. Yang, Z. Zhao, X. Liu, W. Chen, *The influences of rheological property on the impact performance of kevlar fabrics impregnated with SiO₂/PEG shear thickening fluid,* *Thin-Walled Struct.* 151, 2020.
- C. Fischer, S.A. Braun, P.E. Bourban, V. Michaud, C.J.G. Plummer, J.A.E. Manson, *Dynamic properties of sandwich structures with integrated shear-thickening fluids,* *Smart Mater. Struct.* 15: 1467–1475, 2006.
- F.J. Galindo-Rosales, *Complex fluids in energy dissipating systems,* *Appl. Sci.* 2016.
- S. Gürgen, M.A. Sofuoğlu, *Vibration attenuation of sandwich structures filled with shear thickening fluids,* *Compos. Part B Eng.* 186, 2020.
- S. Gürgen, M.A. Sofuoğlu, *Experimental investigation on vibration characteristics of shear thickening fluid filled CFRP tubes,* *Compos. Struct.* 2019.
- L.-L. Sun, D.-S. Xiong, C.-Y. Xu, *Application of shear thickening fluid in ultrahigh molecular weight polyethylene fabric,* *J. Appl. Polym. Sci.* 129: 1922–1928, 2013.
- H.R. Baharvandi, P. Khaksari, M. Alebouyeh, M. Alizadeh, J. Khojasteh, N. Kordani, *Investigating the quasi-static puncture resistance of p-aramid nanocomposite impregnated with the shear thickening fluid,* *J. Reinf. Plast. Compos.* 33: 2064–2072, 2014.
- Y. Xu, X. Chen, Y. Wang, Z. Yuan, *Stabbing resistance of body armour panels impregnated with shear thickening fluid,* *Compos. Struct.* 2017.
- Y. Xu, *Stabbing Resistance of Soft Ballistic Body Armour Impregnated with Shear Thickening Fluid,* 2016.
- C. Yanen, *Investigation the Use of Hybrid Nanoparticle Reinforced Shear Thickening Fluid in Ballistic Applications,* Firat University, 2021.
- D.P. Kalman, R.L. Merrill, N.J. Wagner, E.D. Wetzel, *Effect of particle hardness on the penetration behavior of fabrics intercalated with dry particles and concentrated particle-fluid suspensions,* *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2009.
- J. Qin, G. Zhang, X. Shi, *Study of a shear thickening fluid: the suspensions of monodisperse polystyrene microspheres in polyethylene glycol,* *J. Dispers. Sci. Technol.* 38: 935–942, 2017.
- H.R. Baharvandi, M. Alebooyeh, M. Alizadeh, P. Khaksari, N. Kordani, *Effect of silica weight fraction on rheological and quasi-static puncture characteristics of shear thickening fluid-treated Twaron composite,* *J. Ind. Text.* 46: 473–494, 2016.
- S. Gürgen, W. Li, M.C. Kuşhan, *The rheology of shear thickening fluids with various ceramic particle additives,* *Mater. Des.* 104: 312–319, 2016.
- C. Yanen, E. Aydoğmuş, M.Y. Solmaz, *Determination of suitable rheological model for polyethylene glycols and silica particle mixtures,* *Middle East J. Sci. (MEJS).* 6: 85–93, 2020.
- S. Gürgen, M.C. Kuşhan, *The stab resistance of fabrics impregnated with shear thickening fluids including various particle size of additives,* *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 94: 50–60, 2017.
- X.Z. Zhang, W.H. Li, X.L. Gong, *The rheology of shear thickening fluid (STF) and the dynamic performance of anSTF-filled damper,* *Smart Mater. Struct.* 17. 2008.



Seçici Lazer Sinterleme Tabanlı 3D Yazıcının Tasarımı

Fatma Nazlı Özsolak^{1*}, Bülent Kaya²

^{1*}Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6312-8675), fnasari@erciyes.edu.tr

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7943-8683), bulentkaya@erciyes.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011235)

ATIF/REFERENCE: Özsolak, F.N. & Kaya, B. (2021). Seçici Lazer Sinterleme Tabanlı 3D Yazıcının Tasarımı. *European Journal of Science and Technology*, (28), 785-789.

Öz

Geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak, 3D baskı teknolojisi, son yıllarda nesnelerin ve parçaların üretiminde etkili bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde 3D yazıcılar ile hızlı ve verimli bir şekilde tasarlanan parçaların prototip veya nihai ürün imalatını gerçekleştirmek mümkündür. Hatta bazı durumlarda başka yöntemlerle imal edilemeyecek son derece karmaşık geometriye sahip 3D baskı ile üretilmektedir (Berman 2012), (Wong ve Hernandez 2012).

Çalışma kapsamında Seçici Lazer Sinterleme (SLS) 3D yazıcı tasarımı gerçekleştirilecektir. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya seçici lazer ergitme (SLM) tabanlı bir 3D metal baskı tekniği geliştirilmesinde ilk ve en önemli safha, bir lazer kaynağından elde edilen enerjinin belli zaman ve durumlarda, hedef metal tozu üzerine belirlenen konumlara düşürülmesidir. Tasarlanacak olan SLS tabanlı 3D yazıcı sistemindeki bağımsız birimlerin (lazer, optik, lensler, kontrol yazılımı gibi) kişiselleştirilmiş yazılım ile entegrasyonu hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Seçici Lazer Sinterleme, 3D Metal Yazıcı, Toz Yatak Tipleri, Toz Serme Sistemleri.

Design of Selective Laser Sintering 3D Printer

Abstract

Unlike traditional manufacturing methods, 3D printing technology has been used effectively in the production of objects and parts in recent years. Today, with 3D printers, it is possible to produce prototypes or final products of designed parts quickly and efficiently. In some cases, extremely complex geometries that cannot be produced by other methods can be produced with 3D printing (Berman 2012), (Wong ve Hernandez 2012).

Within the scope of this study, Selective Laser Sintering (SLS) 3D printer design will be realized. The first and most important step in the development of a 3D metal printing technique based on Selective Laser Sintering (SLS) or Selective Laser Melting (SLM) is to reduce the energy obtained from a laser source to specified positions on the target metal powder at certain times and situations. It is aimed to integrate the independent units (such as laser, optics, lenses, control software) in the SLS-based 3D printer system to be designed with personalized software.

Keywords: Additive Manufacturing, Selective Laser Sintering, 3D Metal printer, Powder Bed Types, Powder Laying Systems.

* Corresponding Author: fnasari@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Lazer tabanlı üç boyutlu yazıcılar ile ilgili literatür incelendiğinde eklemeli imalat ile ilgili simülasyon ve modelleme çalışmaları tespit edilmiştir. Eklemeli imalat yöntemleri içerisinde küçük-hassas parçaların üretiminde ekonomik, hızlı ve az adetli üretim için bir çözüm avantajına sahip SLS tabanlı 3D yazıcıların geliştirilmesi önem arz etmektedir.

3D baskı veya eklemeli imalat adı verilen bu teknolojinin ISO/ASTM 52900:2015 göre, “herhangi bir malzemeyi bir baskı kafası, nozul veya başka bir baskı teknolojisi vasıtasıyla yığarak, bir objenin üretimini gerçekleştirme faaliyetidir” şeklinde tanımlanmıştır (Conner 2014). 1980’ li yıllarda başlayan ve hızlı prototipleme (Rapid Prototyping-RP) olarak adlandırılan bu imalat metodu artık günümüzde, baskı süresi ve nihai ürün çıktısındaki fonksiyonelliğin geliştirilmesi neticesinde yakalanan başarılar nedeniyle eklemeli imalat (Additive Manufacturing-AM) olarak anılan yeni ve kabul gören bir üretim metodunu işaret etmektedir.

Buna göre, tıpkı kâğıt üzerine baskıda mürekkep kullanılması gibi, 3D yazıcılar katman katman, termoplastiklerden metallere, cam, seramik, kâğıt ve hatta kompozit içerikli çok çeşitli malzemeleri kullanarak 3D fiziksel objeleri basmaktadır. Kullanılan baskı malzemeleri ise uygulanan eklemeli imalat baskı yöntemlerine göre değişiklik arz eder. Buna göre eklemeli imalat için kullanılan malzemeler, sıvı, toz ve katı (filament veya levha) halde bulunurlar ve kullanılan malzemeye göre eklemeli imalat proseslerini sınıflandırılır.

ASTM katmanlı imalatı (AM); malzeme çıkarımı imalat yöntemlerinin aksine 3 boyutlu parçaları üretmek için malzemenin katman katman eklenmesi sonucu oluşturulduğu yöntem olarak tanımlanmaktadır. Eş anlamlıları ise eklemeli imalat, ekleme prosesi, eklemeli katmanlı üretim ve serbest form üretimidir (Herderick 2011). Bu tanım içeriğinde metaller, seramikler, polimerler, kompozitler ve biyolojik sistemlerin olduğu geniş bir alanda uygulanabilir. Her ne kadar 20 yılı aşkın bir süredir bu teknik üzerinde çalışmalar yapılsa da daha yeni yeni günümüzde ticari bir öneme sahip imalat yöntemi olmaya başlamıştır.

Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya Eritme (SLM) tabanlı metal 3D yazıcı geliştirilmesi sürecinde, birçok destek sistemine ve sistem tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. SLS teknolojisinde üretilen parçalarda destek malzemesi kullanılmadığından imal edilen parçaların temizlenmesi için gereken süre de ortadan kalkar.

2. Materyal ve Metot

Toz yatak tipli SLS veya SLM, lazer eklemeli imalat yöntemleri için hız ve hassasiyet ve dolayısıyla bu parametrelere bağımlı olan artan verimlilik şu an bilinen haliyle ancak galvo tarayıcı sistemler ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla galvo lazer tarayıcı ve bununla entegre optik sistemler toz yataklı eklemeli imalat sistemlerin kalbini oluşturur. Galvo tarayıcılar, entegre aynası ile çok hızlı olarak belirlenen bir kesiti (slice) tarayarak lazeri tozla birleştirir. Sistemin düşük kütlesi yüksek ivmeli konumlamalarda bile yüksek kararlılık ve dolayısıyla yüksek bir konumlama hassasiyeti sunmaktadır. Çeşitli kontrol zorlukları

olsa da bu durum geleneksel servo motor / bilyalı mil konfigürasyonundan çok daha hızlı ve titreşimsiz hareket sağlar. Hatta günümüzde bu hız, polygon lazer tarayıcılar (Dong 2009) ile kat kat daha da arttırılmaya çalışılmaktadır.

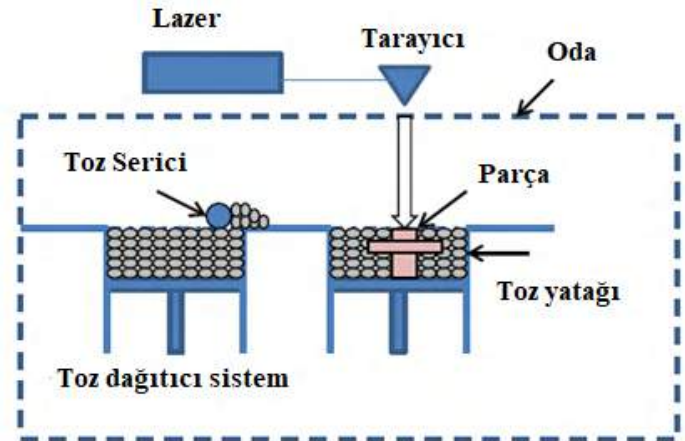
Buna göre, lazer kaynağından çıkarak, toz üzerinde hedef X ve Y konumlamalarını sağlayacak olan 2 eksen lazer tarama modülüne odaklanır. Burada hassas galvo servo motorlarına entegre aynalara düşürülen lazer, toz üzerinde seçili bölgelere yansıtılır. Böylelikle yüksek enerjiye sahip lazer, belirlenen koordinatlarda tozun seçili bölgelerine düşürülerek, burada belirli bölgelerin eritilerek, katlaşmasına neden olur. Bir katmanda işi biten lazerin çalışması için, bir toz sıyırıcı mekanizması bu katmanın üzerine belirli bir yükseklikte toz serer ve lazer bu yeni toz katmanı üzerinde çalışmasına devam eder.

Esasen toz yataklı metal eklemeli imalat sistemleri göreceli olarak basit bir mantıkla 3D baskı yapılmasına imkan tanır. Buna göre 3 temel aşamanın gerçekleşmesi ile SLS veya SLM olarak adlandırılan eklemeli imalat prosesi gerçekleşir:

- 1)3D CAD, STL verinin işlenmesi ve katman kalınlığına göre dilimlenmesi (slicing)
- 2) Bu dilimlenmiş bir dizi 2D kesitin, yeterince güçlü ve odaklanan bir enerji ile metal tozu üzerine markalanması
- 3) Her bir kesit için belirgin bir katman kalınlığında tozun serilmesi (toz beslemesi ve toz yatağı hareketinin sağlanması) ve böylelikle tüm kesitlerin toz üzerinde markalanıncaya kadar döngünün devam ettirilmesi.

2.1. Toz Yatak Sistemi

Şekil 1 Toz Yatak Sisteminin temel çalışma prensibini gösteren bir şemadır. Bu sistem tozun çalışma alanı boyunca belirgin bölgelerinde (seçici) eritilmesine dayanır. Enerji kaynağı (elektron ışını veya lazer ışını), istenilen şeklin elde edilmesi için birleşmenin gerçekleşeceği yüzeyde toz malzemeyi eritmek ya da sinterlemek üzere programlanmıştır.



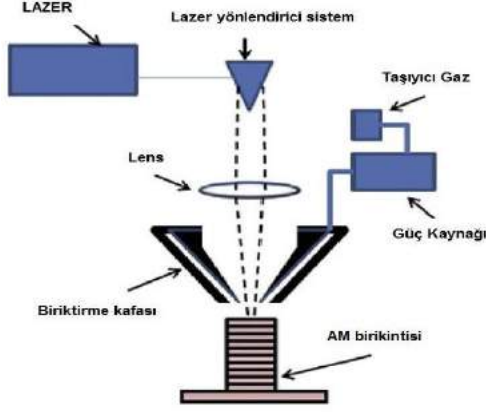
Şekil 1. AM Toz Yatak Sisteminin Jenerik Gösterimi (Kathuria 1999)

Yöntem iki boyutlu olup her defasında bir katmana uygulanarak katmanlar arasında bağlantı oluşturup üç boyutlu geometrinin oluşumu sağlanmaktadır. Katman kalınlığı 50 µm veya arzu edilen parça özelliklerine bağlı olarak daha az olacak şekilde uygulanabilir. Bu yöntemin avantajı yüksek çözünürlük özelliklerinin elde edilmesi, kompleks iç geçişlerin

sağlanabilmesi, boyutsal hassasiyet ve homojen tane yapısı ile yüksek mukavemetli parçalardır.

2.1.1. Toz Besleme Sistemi

Toz besleme sisteminin genel çalışma prensibi Şekil 2’de verilmiştir. Bu sistemlerin hacimsel parça baskı kapasitesi genellikle toz yatak sistemlerinden nazaran daha büyüktür. Ayrıca hibrid, yani hem lazer katmanlı hem de talaşlı imalat üretimini de barındırabilir.



Şekil 2. AM Toz Besleme Sisteminin Gösterimi (Kathuria 1999)

Toz yataklı, Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya Seçici Lazer Eritme (SLM) teknolojisi ne olursa olsun, lazer kaynağının belirgin koordinatlar üzerine düşürülmesinde galvo tarayıcılar (galvo scanner) kullanılır.

Lazer eklemeli imalat yöntemleri için hız ve hassasiyet ve dolayısıyla bu parametrelere bağımlı olan artan verimlilik şu an bilinen haliyle ancak galvo tarayıcı sistemler ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla galvo lazer tarayıcı ve bununla entegre optik sistemler toz yataklı eklemeli imalat sistemlerin kalbini oluşturur. Galvo tarayıcılar, entegre aynası ile çok hızlı olarak belirlenen bir katman kesitini (slice) tarayarak lazeri metal tozun üzerine düşürür.

Sistemin düşük kütlesi yüksek ivmeli konumlamalarda bile yüksek kararlılık ve dolayısıyla yüksek bir konumlama hassasiyeti sunmaktadır. Çeşitli kontrol zorlukları olsa da bu durum geleneksel servo motor / bilyalı mil konfigürasyonundan çok daha hızlı ve titreşimsiz hareket sağlar. Hatta günümüzde bu hız, polygon lazer tarayıcılar (SCANLAB 2019) ile kat kat daha da artırılmaya çalışılmaktadır.

2.2. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) 3D Yazıcı Tasarım Aşamaları

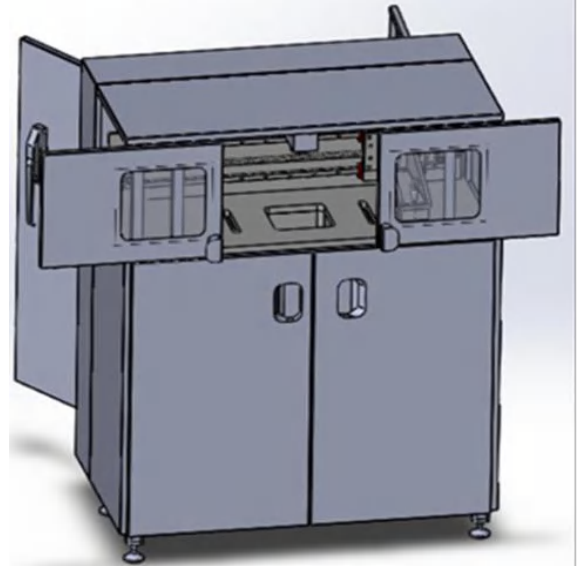
Literatür incelemelerinde metal AM (eklemeli imalat) sistemlerinde kullanılan teknolojiler, malzeme besleme şekli, enerji kaynağı ve imalat hacmine göre kategorize edilebilir. Tablo 1 bazı makine üreticileri ile bazı sistem özellikleri listelenmektedir (Herderick 2011). Bu tabloda üretim sistemi temel üç yönteme ayrılmıştır: (i) Toz Yatak Sistemi, (ii) Toz Besleme Sistemi, (iii) Tel Besleme Sistemi. Bu sistemler için enerji kaynağı (elektron ışını (EBM), lazer, ark vb.) de belirtilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde üretim sisteminin temel üç yönteme ayrıldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle öncelikle toz yatak ve toz

serme sisteminin tasarlanması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada yapılan çeşitli tasarımlar ve elde edilen veriler ile toz yatak ve toz serme sistemi tasarlanmıştır. Şekil 3 ‘de tasarlanan sistem gösterilmektedir.

Tablo 1. AM Ekipmanları ve Özellikleri

Sistem	Proses	Yapı Hacmi	Enerji Kaynağı
ARCAM	EBM	200X300X350	7 kw elektron ışın
EOS	DMLS	250X250X325	200-400 W Yb-fiber lazer
Consept Laser Cusing	SLS	300X350X300	200 W fiber lazer
MIT	SLS	250X250X300	100-400 W Yb-fiber lazer
Phenix System Group	SLS	250X250X300	500 W fiber lazer
Renishaw	SLS	245X245X360	200 yada 400 W lazer
Realizer	SLS	250X250X220	100, 200 yada 400 W fiber lazer
Matsuura	SLS	250X250 Çaç	400 W Yb fiber lazer



Şekil 3. 3D Toz Yatak Besleme ve Sürme Sistemi

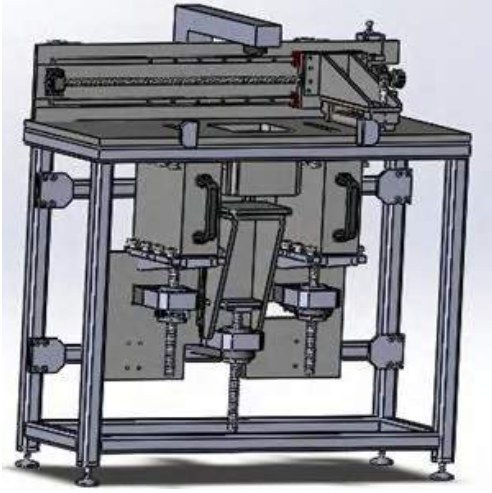
Sistem temelde 4 bölümden oluşmaktadır. Lazer kaynağı, lazer ışını yönlendirecek galvo kafa, toz besleme ve toplama sistemi, toz sürme mekanizmasıdır. Lazer kaynağı ve Galvo kafa piyasadan hazır elde edilebilen bileşen iken toz besleme ve toplama sisteminin tasarımı bu araştırmanın konusudur. Şekil 4’de tasarlanan sistemin giydirme sacları olmaksızın montajı görülmektedir.

Sistem temelde üç ana işlem basamağından oluşmaktadır.

1. Metal toz haznesinden tozun tabla üzerine istenilen miktarda beslenmesi.

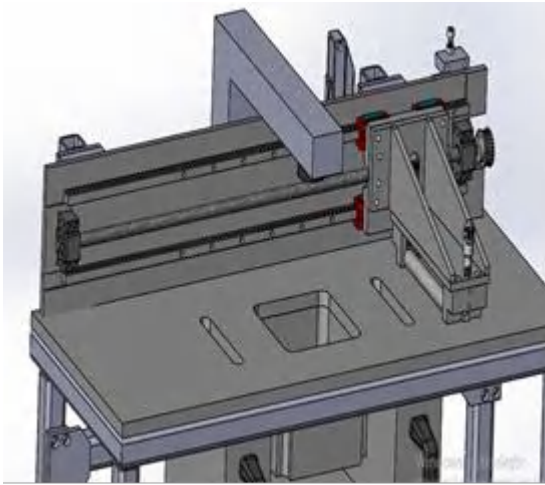
2. Beslenen tozun proses tablası üzerine katman kalınlığı kadar serilmesi.

3. Proses tablasının her yazım işlemi sonunda bir katman kalınlığı kadar aşağı hareketidir.



Şekil 4. Toz Besleme ve Sürme Detay Tasarım

Bu üç proses için de farklı mekanizmalar ve sistemler tasarlanmış ve entegrasyonu yapılarak bir montaj altında toplanmıştır. Şekil 5'de toz sürme sistemi ve ana tabla detayları gösterilmektedir.



Şekil 5. Toz Sürme ve Ana Tabla Detayı

Tabla üzerinde toz besleme, proses tabla alanı ve fazla tozun boşaltıldığı kanallar bulunmaktadır. Toz besleme mekanizması ise vidalı mil, somun ve servo motor ile tahrik edilen bir mekanizmadır. Yataklama lineer kızak arabalarla sağlanmıştır. Tozun düzlemsel olarak sürülebilmesi için süpürgeler metal aşınmasını önlemek amacıyla krom kaplı indüksiyonlu merdaneler tarafından yapılacaktır.

2.3. Deney Cihazı Kurulumu ve Ön Deneyler

Tasarım çalışmasının yürütülmesi için ön deneyler ve tasarım çalışmaları eş zamanlı olarak yapılmıştır. Tasarım esnasında belirsizliklerin daha da netleştirilmesi amaçlanarak eş zamanlı deney tesisatı kurulumu ve bazı parçaların imalatı

gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ön çalışmalarda metal bronz tozu ile küçük parça üretimleri denenmiş ve elde edilen veriler ile toz yatak ve toz serme sistemi tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen ön çalışmaların detayları aşağıda açıklanmıştır.

SLS 3D sistemi için önemli olan galvo ve kişiselleştirilmiş ara yüzün performansı için metal tozları üzerinde denemeler yapılmıştır. Bronz metal tozu (45 µm) ve krom kobalt alaşım (30 µm) tozu ile denemeler yapılmıştır.

Bu çalışmalar için deney teçhizatı kurulumu yapılarak, mevcuttaki 20 W lazer markalama tezgahının alaşımlar üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Buna göre yukarıdaki 3 temel aşama takip edilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmadaki ön denemelerde 20 W CO₂ lazer ile metal ergitme ve toz metalin birleştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Denemeler için krom kobalt alaşım (30 µm) tozunu, ahşap bir havuza sererek üzerinde tam güçle 10 x 10 mm² markalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tezgahla ilgili net bilgi olmadığı için, lazerin kesme kalitesine bakıldığında sabit odağın yaklaşık 21mm değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda ahşap havuz içerisinde 20 W güçte 2 defa tekrarlanan işlemde lazerin etkisiyle, neredeyse tozları birleştirdiği (Şekil 6 (b)), 10x10 mm blok gözlemlenmiştir.



a) Lazer Başlığı



b) Lazer ile birleşen blok

Şekil 6. Ahşap Havuz İçinde Alaşım Tozu ve Blok Numune

Krom kobalt alaşım (30 µm) tozu ile alınan sonuçtan hareketle, hafif metaller üzerinde daha iyi bir etki bırakılacağı düşünüldükçe, 20 W lazer gücünün performansını gösteren daha iyi bir deneysel kurulum hazırlanmıştır. Buna göre, katman kalınlığı bir mikrometre ile manuel olarak kontrol edilen alüminyum bir toz yatağı sistemi üretilmiştir. Şekil 7’ de görülen bu fikstür ana gövde, hareketli inşa tablası, mikrometre ve fikstür bağlantı kulaklarından oluşmaktadır.



Şekil 7. Ön Denemelerde Kullanılan 3D Metal Baskı İçin Hazırlanan Manuel Toz Yatağı

Toz taneleri uzaklaştırıldığında yazılmaya çalışılan parça toz kümesi içerisinde belirmişti. Parça ergiyerek birleştiği için alüminyum alt tablaya da yapışmıştır. El aleti kullanılarak parça tabladan ayrılmıştır. İki farklı deneme yapılarak iki farklı parça üretilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi parçalar tozun maliyeti ve 3 boyutlu lazer odaklanmanın yapılamaması nedeni ile mümkün olduğunca küçük 1 cm boy ebatlarında üretilmiştir.



Şekil 8. 3D Baskı Denemesi Sonucunda Elde Edilen Parça

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Elde edilen veriler ile yukarıda detayları belirtilen toz yatak ve toz serme sistemi tasarlanmıştır. Bu çalışmada Seçici Lazer Sinterleme (SLS) 3D yazıcı tasarımı aşağıda sıralanan temel aşamalar ile gerçekleştirilebileceği anlaşılmıştır.

1.Tasarlanan 3D CAD modelin, STL mesh yapısına çevrilmesi.

2.Mesh yapısının toz katman kalınlığına göre dilimlenmesi ve kesit alanının oluşturulması

3.Lazer spot çapına göre takım yolunun seçici lazer alanının belirlenmesi (Gcode oluşturulması)

4.Her bir kesit için oluşturulan G code için kontrol sisteminin (galvo kontrol kartının) lazeri doğru konumlamasının sağlanması, kontrol kartı ve galvo arasındaki iletişim protokolünün adaptasyonu ayarlanması.

5.Galvo sistemin kalibrasyonu ve doğruluk testleri için lazer marker noktaları oluşturulması, yakılan/çizilen konturların görüntü işleme yazılımları ile geometrik doğruluğunun ölçülmesi.

4. Sonuç

Eklemeli imalat süreci yüksek düzeyde karmaşıklık içermektedir. Bu süreç içerisindeki mekanizmalar literatürdeki çalışmaların konusu olmaya devam etmektedir. Metal parçaların AM ile üretiminde bu kısıtlamalardan dolayı imalat endüstrisi tam anlamıyla AM yöntemi ile imalata geçiş yapamamıştır. Eklemeli imalat yöntemi ile ilgili simülasyon, modelleme çalışmaları literatüründe seçici lazer sinterleme (SLS) ve seçici lazer eritme (SLM) yöntemleri için termal analizler bulunmaktadır.

Özel geometrilere sahip hassas parçaların ekonomik, hızlı ve az adetli üretimi için bir çözüm avantajına sahip SLS tabanlı 3D yazıcıların geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu sistem tasarımı için yapılan araştırmaların üretim için simülasyon ve modelleme çalışmalarına göre daha az sayıda olduğu göze çarpmaktadır. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya Eritme (SLM) tabanlı metal 3D yazıcı geliştirilmesi sürecinde sistem tasarımlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırma konusunun yeni bir konu olması ve konuyla ilgili yapılan çalışmanın ülkemizde diğer araştırmacılara katkı sağlaması açısından önem taşımaktadır. Yapılan çalışmaların az olması nedeniyle elde edilecek bilgi birikiminin imalat sanayisine uygulanabilir olması da oldukça önemlidir.

Verimli bir SLS tabanlı 3D yazıcı sisteminde öncelikli olarak toz yatak ve toz serme sisteminin tasarlanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Kaynakça

- Berman, B.,(2012), “3-D printing, The new industrial revolution”, Business Horizons, Vol. 55, No.2, p. 155-162.
- Conner, B.P., et al., (2014), “ Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services”, Additive Manufacturing, Vol.1-4, p. 64-76.
- Dong, L., et al.,(2020), “Three-dimensional transient finite element analysis of the selective laser sintering process”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.209, No.2, p. 700-706.
- Herderick, E. ,(2011),“Additive manufacturing of metals: A review”, Material Science and Technology, Vol 2, p.1413-1425.
- Kathuria, Y.P., (1999),“Microstructuring by selective laser sintering of metallic powder”, Surface and Coatings Technology, Vol.116, p. 643-647.
- SCANLAB website [Online]. (2019) Available <https://www.scanlab.de/en/products/advanced-scanning-solutions/polygon-scanner-systems>.
- Wong, K.V., Hernandez, A., (2012), “A Review of Additive Manufacturing”,ISRN Mechanical Engineering, p. 1-10.



DeneySEL Olarak Ölçülen Farklı Sürüş Davranışlarının K En Yakın Komşuluklar Yöntemleriyle Sınıflandırılması

Tuba Nur Serttaş^{1*} ve Fatih Serttaş²

^{1*} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6596-7162), mgul@aku.edu.tr

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3109-716X), fserttas@aku.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011026)

ATIF/REFERENCE: Serttaş, T. N. & Serttaş, F. (2021). DeneySEL Olarak Ölçülen Farklı Sürüş Davranışlarının K En Yakın Komşuluklar Yöntemleriyle Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 790-794.

Öz

Bu çalışmada, 13 farklı sürücünün aynı aracı, aynı güzergahta ve aynı çevre koşullarında sürmesi sağlanmıştır. Sürüşler başlamadan araca araç takip cihazı monte edilmiş ve eş zamanlı olarak akıllı telefon uygulaması kullanılmıştır. Sürüşlerin kontrollü bir şekilde gerçekleştirildiği rota, sürüş davranışlarını ortaya çıkarabilecek özelliklere sahip olacak şekilde seçilmiştir. Açısız hız ile ilgili sonuçların doğru bir şekilde alınabilmesi için sağa-sola dönüş ve u dönüşü manevralarının kullanıldığı bölümler bulunmaktadır. Aynı amaçla yolda tümsek, çukur, yaya, araç ve hız limitlerinin olmasına özen gösterilmiştir. Ardından sürücüler agresif, sakin veya normal olarak sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma yöntemi olarak k en yakın komşuluklar metodolojileri kullanılmıştır. Fine KNN yöntemi ile %84,6 doğruluk elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürüş karakteristiği, Sınıflandırma, Fine KNN, Weighted KNN, DeneySEL sürüş.

Classification of Experimentally Measured Different Driving Behaviors using K Nearest Neighbors Methods

Abstract

In this study, 13 different drivers were provided to drive the same vehicle on the same route and environmental conditions. Before the rides started, a vehicle tracking device was mounted on the vehicle and a smartphone application was used simultaneously. The route where the driving is carried out in a controlled way has been chosen to have features that can reveal driving behaviors. There are sections where right-left turns and U-turn maneuvers are used to obtain accurate angular velocity results. For the same purpose, care has been taken to ensure bumps, potholes, pedestrian, vehicle, and speed limits on the road. Afterward, drivers are classified as aggressive, calm, or usual. KNN methodologies are used as the classification method. Fine KNN application reaches 84,6% accuracy ratio.

Keywords: Driving characteristic, Classification, Fine KNN, Weighted KNN, Experimental driving.

* Sorumlu Yazar: mgul@aku.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde artan araç kullanımı beraberinde çeşitli sorunlar getirmektedir. Bu sorunlar çeşitli faktörlerden kaynaklanıyor olsa da sürücü davranışı, yol güvenliğini etkileyen en önemli faktör olarak sayılabilmektedir. Bu nedenle, son zamanlarda sürücü davranışlarının izlenmesi ve tespit edilmesi aktif bir araştırma alanı olmuştur. Sürücülerin sınıflandırılması çalışmalarında çeşitli sınıflandırma yöntemlerini kullanılmaktadır. Daza ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen sürücü davranışı sınıflandırması çalışmasında yapay sinir ağları kullanılarak sürücü dikkatine dayalı bir sınıflandırma gerçekleştirilmiştir (Daza vd., 2011). Gizli Markov Modeli çeşitli çalışmalarda sürücü performans ve sürücü davranışı değerlendirilmesi, sürüş manevra tespiti ve yol durumunun incelenmesi gibi konularda kullanılmıştır (Boyras vd., 2007; Fu vd., 2016; Gadepally vd., 2011; Gadepally vd., 2013; Oliver & Pentland, 2000; Takeda vd., 2011).

Literatürde benzer uygulamalar veya araç sensörlerine sahip sürücüler ve sürücüler anlatan çok sayıda çalışma yer almaktadır. Miyajima ve diğerleri sürücüler arasındaki bireysel farklılıkları, özellikle bir aracı takip ederken, mesafeyi koruma ve yaya alışkanlıklarına dayalı olarak modellemektedir. Ayrıca çalışmada sunulan modelin sürücü özelliklerini ne kadar iyi temsil ettiği de gösterilmiştir (Miyajima vd., 2007). Sakaguchi ve diğerleri, Bayes ağlarını kullanarak bir sürücünün durma davranışını modellemiş (Sakaguchi vd., 2003), Oliver ve Pentland (2000) ise bu davranışları HMM yöntemini kullanarak modellemiştir. Sürücü davranışları incelendiğinde sadece normal yaşam standartlarında sınıflandırmanın sürücü tanımlaması için yetersiz kalacağı düşünülmektedir. 25 farklı kaza riskinin bulunduğu tehlikeli bir senaryo için sürücülerden alınan verilerin çalışmasında, potansiyel olarak tehlikeli durumların meydana geldiği yerler ile sık sık güçlü fren yapılan alanlar arasında güçlü bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır (Malta vd., 2009). Aynı zamanda trafik kazalarını azaltmak ve sürüş konforunu artırmak için tasarladığımız otomatik sürüş asistanları da sürücüler için olumsuz sonuçlar doğurabiliyor. Acil bir durumda sürücü durumu analiz etmeli ve müdahale etmelidir. Analiz ve müdahale süresi çok kısa olduğu için sürücülerin özelliklerinin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır. Otomatik sürüş asistanı ile sürüş, sürücüye fiziksel olarak müdahale etmez, bu nedenle sürücü tanımlaması için sürücülerin görüşleri incelenir. Bu çalışmaya göre araç sürüş asistanında olsa bile sürücünün yolu ve çevresini kontrol etmesi gerekiyor. Bu bağlamda deneklerden alınan sürüş verilerinde şerit değişikliklerinin dikkati incelenmiş ve otomatik sürüş sırasında ön yolda daha az dikkatli olan sürücülerin çevredeki risk faktörlerine karşı daha az duyarlı oldukları gösterilmiştir. ve otomatik sürüş sırasında tutarsız şerit değiştirme kararları verme eğilimindedir (Miyajima vd., 2015). Geliştirilen otonom araçlar ve sürüş asistanları bu sınıflandırmalara dayalı olarak geliştirilmektedir. Skoda, Volkswagen gibi araçlarda bulunan sürüş asistan sistemleri, direksiyon hareketlerini, düzensiz fren sistemini, şerit hareketlerini vb. göz önünde bulundurarak sürücünün uykusunu bulur ve sürücüyü uyarır. Damian Salapatek ve diğerleri, ana bileşen analizi, sinir ağları, gabor filtreleri, frekans uzaysal yöntemlerinden oluşan bir görüntü işleme algoritması uygulayarak vizyon tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Gabor filtreleri kullanılarak yüz özellikleri etkin bir şekilde elde edilebilir (Salapatek vd., 2017).

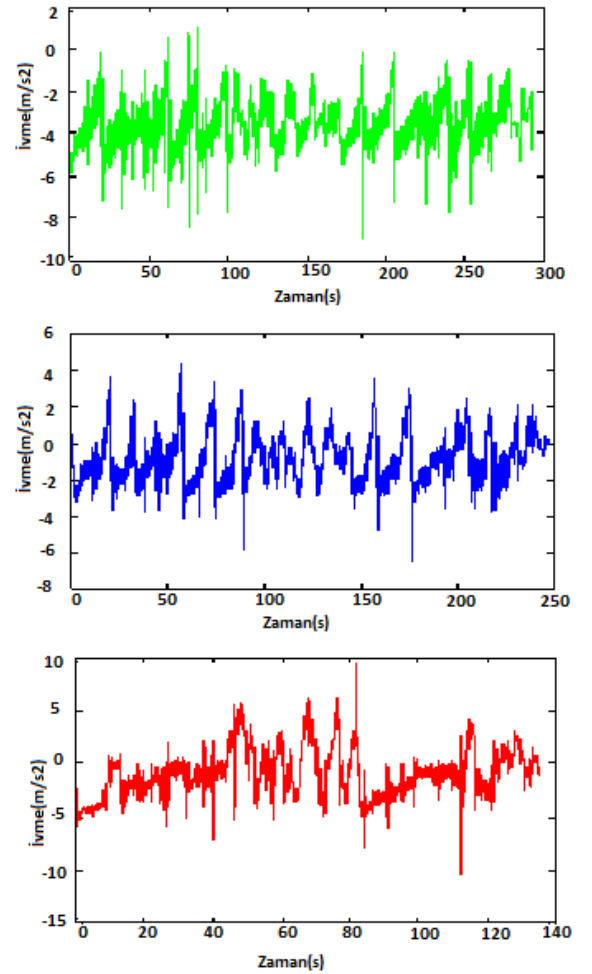
Ayrıca sürücülerin sürüş davranışlarına göre sigorta primi ödemesi gibi uygulamalar da sürücü sınıflandırmanın getirdiği önemli katkılardandır. Mercedes Ayuso ve diğerleri, kullandıkça öde sigorta poliçesinin uygulanması için bir model geliştirmiştir. Sürücünün sürüş şekli, hız ve mesafe dikkate alınarak Küresel Konumlandırma Sistemi kullanılarak belirlenir (Ayuso vd., 2014).

Bu çalışmada, sürücülerin davranışlarına dayalı sınıflandırılması konusunu ele almaktadır. Çalışmada 3 ayrı sınıf belirlenmiş ve sürücüler belirli özellikleri doğrultusunda bu sınıflara atanmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak kNN kullanılmıştır. Sınıflandırma sonucu daha önceden belirlenen sürücü etiketleri ile uyumluluğu sınıflandırma doğruluğunu ortaya koymuştur. MATLAB programında yer alan 6 farklı kNN sınıflandırıcı (Fine kNN, Medium kNN, Coarse kNN, Csine kNN, Cubic kNN ve Weighted kNN) için sonuçlar karşılaştırılmıştır.

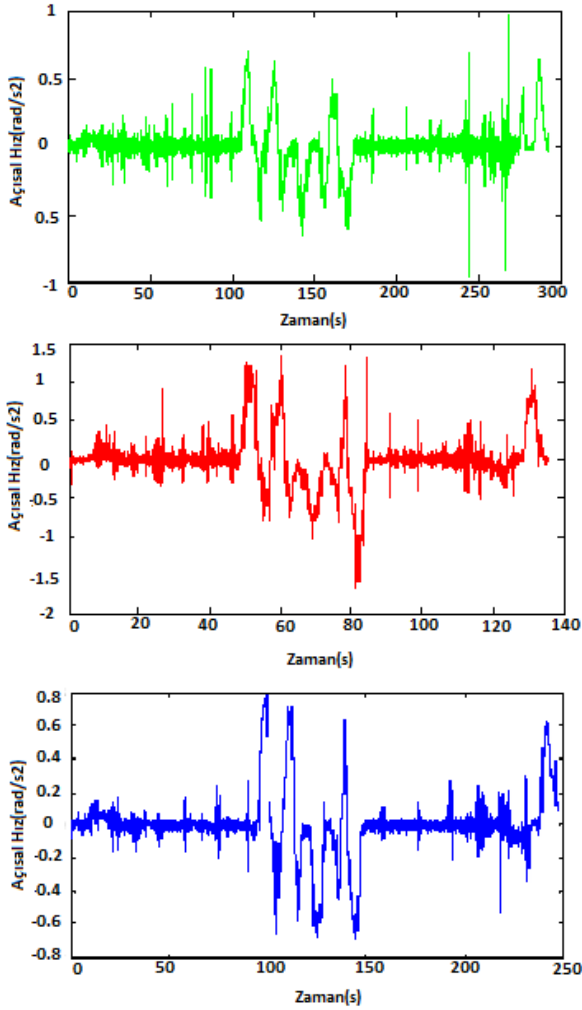
2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti

Testlere katılan erkek ve kadın sürücülere birden fazla sürüş yaptırılarak 13 sürücü için veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde ivme ve açılma hız verileri yer almaktadır. 3 ayrı sınıfa ait örnek birer sürücüye ait ivme veri grafiği Şekil 1’de ve açılma hız veri grafiği Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı sınıflarda yer alan sürücülere ait ivme değerleri (sakin, normal ve agresif)



Şekil 2. Farklı sınıflarda yer alan sürücülere ait açısal hız değerleri (sakin, normal ve agresif)

2.2. k-En Yakın Komşu Yöntemi(kNN)

K-en yakın komşu yöntemi, gözlemlerin yapılacağı sınıfı ve k değerine göre en yakın komşuyu belirleyen bir sınıflandırma yöntemidir. Gözlemlere veya nesnelere arasındaki mesafeye göre sınıflandırma yapan denetimli veri madenciliği algoritmalarından biridir. Yöntem, örüntü tanıma, yapay zeka, veri madenciliği, istatistik, bilişsel psikoloji, tıp ve biyoinformatik gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Özkaya ve Seyfi, 2021; Fix ve Hodges, 1951). K-en yakın komşu algoritması, sınıflandırmayı mesafe veya yakınlık hesaplamasına göre yapar. Özetle, bu sınıflandırma algoritması "örnek uzayda birbirine yakın olan nesnelere muhtemelen aynı kategoriye ait olduğu" fikrine dayanmaktadır.

Algoritmanın amacı, bireyleri veya nesnelere önceden belirlenmiş sınıflara veya gruplara bu nesnelere özelliklerini kullanarak en doğru şekilde atamaktır. Yöntem ayrıca yeni bir gözlemin sınıflandırılmasına da izin verir. Öğrenme veri seti yardımıyla, sınıflandırılacak gözlem, en yakın k gözlem arasından en benzerleri ile aynı veri setinde sınıflandırılır.

K-en yakın komşu algoritması, sınıflandırmayı mesafe veya yakınlık hesaplamasına göre yapar. Özetle, bu sınıflandırma algoritması "örnek uzayda birbirine yakın olan nesnelere muhtemelen aynı kategoriye ait olduğu" fikrine dayanmaktadır.

Bu yöntem yapılırken aşağıdaki adımlar gerçekleştirilir (Cover and Hart; 1967).

1. Yeni gözlemin veri setindeki tüm gözlemlere uzaklığı hesaplanır,
2. Bu mesafe değerleri sıralanır,
3. En küçük mesafeli k gözlem seçilir,
4. k gözleminde, çoğunluk oylama kategorisi sınıf değeridir.

Çalışmada kullanılan 6 farklı kNN algoritması için MATLAB programında verilen bilgiler şu şekilde sıralanmaktadır:

(i) Fine KNN: İnce ayrıntılı hale getiren en yakın komşu sınıflandırıcı

komşu sayısı 1 olarak ayarlanmış sınıflar arasındaki farklar.

(ii) Medium KNN: Daha azını yapan en yakın komşu sınıflandırıcı

komşu sayısı 10'a ayarlanmış bir İnce KNN'den farklar.

(iii) Coarse KNN: Komşu sayısı 100 olarak ayarlanmış, sınıflar arasında kaba ayırım yapan en yakın komşu sınıflandırıcı.

(iv) Cosinus KNN: Kosinüs uzaklığı metriğini kullanan en yakın komşu sınıflandırıcı.

(v) Cubic KNN: Kübik mesafe metriğini kullanan en yakın komşu sınıflandırıcı.

(vi) Weighted KNN: Uzaklık ağırlıklandırmasını kullanan en yakın komşu sınıflandırıcı

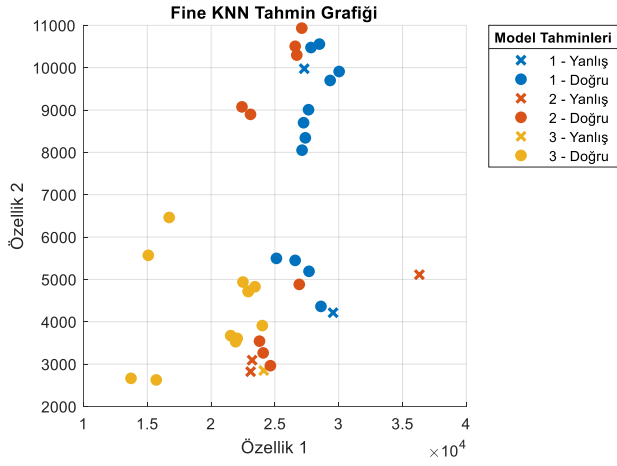
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı kNN yöntemleri ile gerçekleştirilen sınıflandırma sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu veriler için en düşük sınıflandırma doğruluğu Coarse kNN yöntemi ile elde edilirken ek yüksek sınıflandırma yüzdesi %84,6 doğruluk ile Fine kNN yöntemidir.

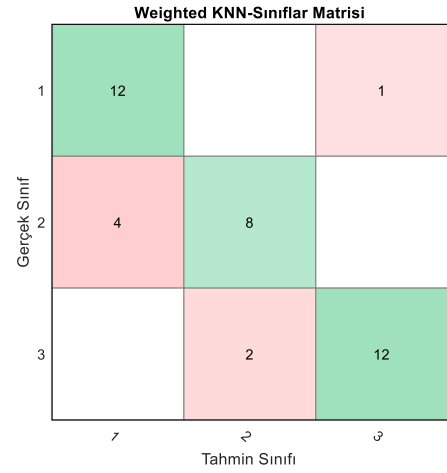
Tablo 1. Sürüş verilerinin test edildiği sınıflandırma yöntemleri karşılaştırması

KNN Yöntem Türü	Komşu Sayısı	Mesafe Metriği	Başarı Oranı
Fine KNN	1	Öklid	%84,6
Medium KNN	10	Öklid	%71,8
Coarse KNN	100	Öklid	%33,3
Cosinus KNN	10	Kosinüs	%64,1
Cubic KNN	10	Minkowski	%66,7
Weighted KNN	10	Öklid	%82,1

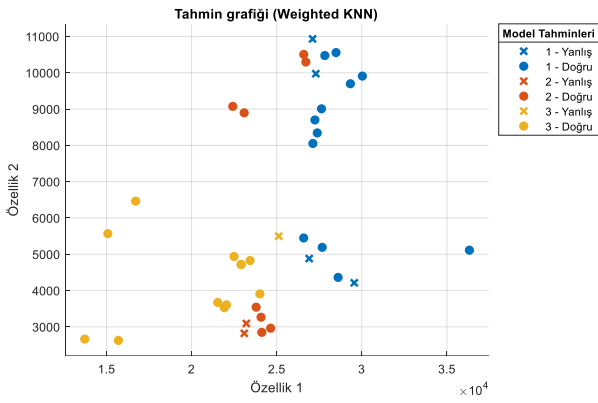
Sürücü sınıflandırma başarısı en yüksek iki kNN yöntemine ait grafikler sırasıyla sunulmuştur. Doğru ve yanlış tahmin edilen sürücülere ait dağılım grafiği Şekil 3'te ve Şekil 4'te sırasıyla "Fine kNN" ve "Weighted kNN" yöntemleri için verilmiştir.



Şekil 3. Fine KNN için dağılım grafiği

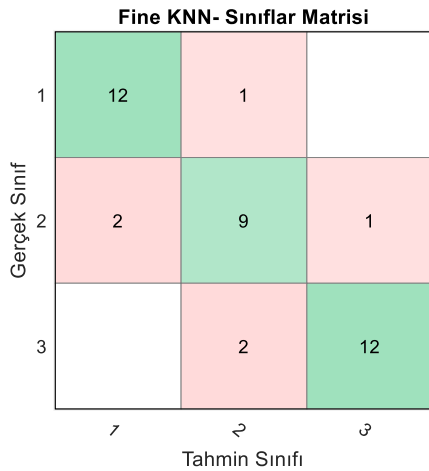


Şekil 6. Weighted KNN için karışıklık matrisi



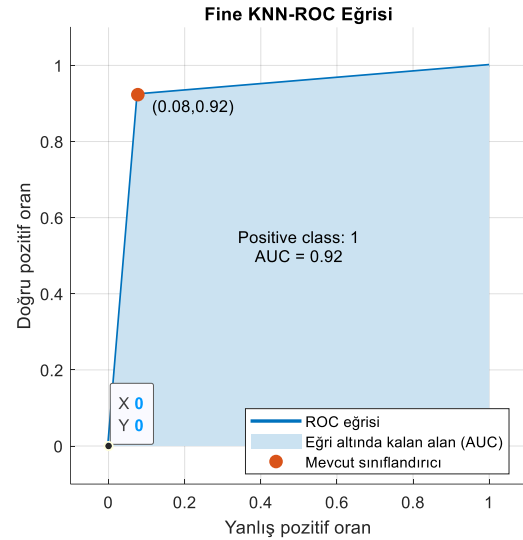
Şekil 4. Weighted KNN için dağılım grafiği

Şekil 5’ te verilen sınıf matrisi incelendiğinde sakin sınıfta yer alan onüç sürücülerden onikisi doğru tahmin edilirken bir sürücü sınıf 2 olarak tahmin edilmiştir. Aynı şekilde normal sürüş davranışı gösteren sınıf 2 deki sürücülerden dokuz sürücü doru sınıfta yer alırken iki sürücü Sınıf 1 ve bir sürücü Sınıf 3e atanmıştır. Benzer olarak agresif sürücülerin bulunduğu Sınıf 3’ e ait oniki sürücü doğru iki sürücü yanlış sınıfa atanmıştır. Şekil 6’de de Weighted kNN yöntemi için sınıf matrisi görülmektedir.

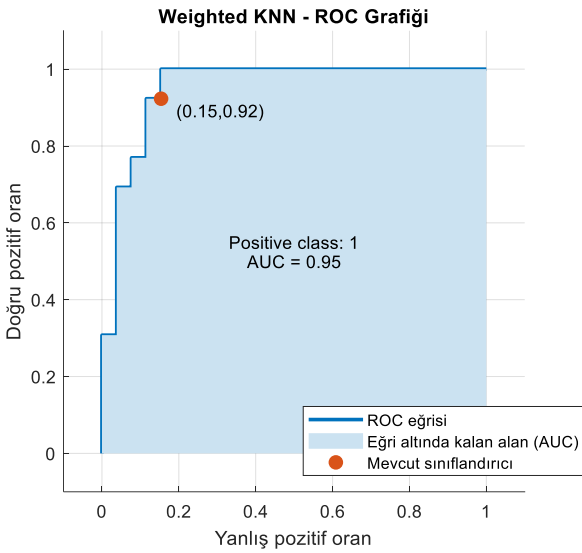


Şekil 5. Fine KNN için karışıklık matrisi

Şekil 7 ve Şekil 8’ de iki yonteme ait ROC eğrileri görülmektedir. ROC eğrileri, sınıflandırma yöntemleri için oldukça kritik bir performans belirteçidir. ROC bir olasılık eğrisidir ve altında kalan alan olan AUC, ayrılabilirliğin derecesini veya ölçüsünü temsil etmektedir. ROC eğrisinde X ekseninde YPO (Yanlış Pozitif Oran) ve Y ekseninde ise GPO (Gerçek Pozitif Oranı) bulunmaktadır. Eğrinin altında kalan alan arttıkça, sınıflar arasında ayırt etme performansı da artmaktadır. GPO duyarlılık değeridir. Yani araç sürücüsü sınıfını tespit edebilme oranıdır. YPO ise yanlış sınıflandırma yapma oranını ifade etmektedir.



Şekil 7. Fine KNN için ROC Eğrisi



Şekil 8. Weighted KNN için ROC Eğrisi

4. Sonuç

Farklı yaş ve cinsiyetlerde, farklı sürüş karakteristikleriyle (sakin, normal ve agresif) araç kullanan 13 kişinin, sürüş esnasında araç takip cihazı ve akıllı telefonlardaki sensörler yardımıyla, ivmeleri ve 3 boyutlu açışal hızları ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen sürüş verileri; sakın, normal ve agresif olmak üzere 3 sınıfa ayrılacak şekilde, güncel KNN sınıflandırma yöntemleriyle test edilmiştir. Yöntemlerin içerisinde en iyi sınıflandırma başarısını gösteren “Fine KNN” (%84,6) ve “Weighted KNN” (%82,1) olarak gözlenmiş ve sınıflandırma sonuçları grafiksel metalarla sunulmuştur.

Sürücülerin sürüş eğilimleri araçtan elde edilen hız, ivme, açışal hız gibi verilerle açık şekilde ortaya konulabilmektedir. Bu veriler sürücünün fren-gaz pedalı kullanım sıklığı ve bu pedalların sert-yumuşak kullanımını, direksiyon manevra kabiliyeti gibi davranışlar için bilgi taşımaktadır. Bu veriler uygun yöntemlerle irdelenerek sürücüler farklı kriterlere dayalı olarak sınıflandırılabilirler.

Elektrikli ve otonom araçlara olan rağbetin gün geçtikçe artması, sürüş karakteristiklerinin modellenerek sınıflandırılması konularını daha da önemli hale getirmektedir. Bu nedenle başarılı sinyal işleme yöntemlerinin belirlenerek, gömülü sistemlere entegre şekilde çalışması kritik bir olgudur. Gelecek çalışmalarda, araçlar üzerinde çalışabilen, yüksek doğrulukta sınıflandırma yapan bir sistemin; kişi tanımlama, kişiye özel sürüş modu belirleme işlemlerini yapması planlanmaktadır.

Kaynakça

- Ayuso, M., Guillén, M., & Pérez-Marín, A. M. (2014). Time and distance to first accident and driving patterns of young drivers with pay-as-you-drive insurance. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 125-131.
- Boyras, P., Acar, M., & Kerr, D. (2007, June). Signal modelling and hidden markov models for driving manoeuvre recognition and driver fault diagnosis in an urban road scenario. In 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (pp. 987-992). IEEE.

- Daza, I. G., Hernández, N., Bergasa, L. M., Parra, I., Yebes, J. J., Gavilán, M., ... & Sotelo, M. A. (2011, October). Drowsiness monitoring based on driver and driving data fusion. In 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1199-1204). IEEE.
- Fix, E., & Hodges, J. L. (1989). Discriminatory analysis. Nonparametric discrimination: Consistency properties. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 57(3), 238-247.
- Fu, R., Wang, H., & Zhao, W. (2016). Dynamic driver fatigue detection using hidden Markov model in real driving condition. *Expert Systems with Applications*, 63, 397-411.
- Gadepally, V., Kurt, A., Krishnamurthy, A., & Özgüner, Ü. (2011, October). Driver/vehicle state estimation and detection. In 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 582-587). IEEE.
- Gadepally, V., Krishnamurthy, A., & Ozguner, U. (2013). A framework for estimating driver decisions near intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(2), 637-646.
- Malta, L., Miyajima, C., & Takeda, K. (2009). A study of driver behavior under potential threats in vehicle traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 10(2), 201-210.
- Miyajima, C., Nishiwaki, Y., Ozawa, K., Wakita, T., Itou, K., Takeda, K., & Itakura, F. (2007). Driver modeling based on driving behavior and its evaluation in driver identification. *Proceedings of the IEEE*, 95(2), 427-437.
- Miyajima, C., Yamazaki, S., Bando, T., Hitomi, K., Terai, H., Okuda, H., ... & Takeda, K. (2015, June). Analyzing driver gaze behavior and consistency of decision making during automated driving. In 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 1293-1298). IEEE.
- Oliver, N., & Pentland, A. P. (2000, October). Graphical models for driver behavior recognition in a smartcar. In Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000 (Cat. No. 00TH8511) (pp. 7-12). IEEE.
- Oliver, N., & Pentland, A. P. (2000, June). Driver behavior recognition and prediction in a SmartCar. In Enhanced and Synthetic Vision 2000 (Vol. 4023, pp. 280-290). International Society for Optics and Photonics.
- Özkaya, U., & Seyfi, L. (2021). Yere Nüfuz Eden Radar B Tarama Görüntülerinin Az Parametreye Sahip Konvolüsyonel Sinir Ağı İle Değerlendirilmesi. *Geomatik*, 6(2), 84-92.
- Sakaguchi, Y., Okuwa, M., Takiguchi, K. I., & Akamatsu, M. (2003). Measuring and modelling of driver for detecting unusual behavior for driving assistance. In Proceedings: International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (Vol. 2003, pp. 7-p). National Highway Traffic Safety Administration.
- Saġapatek, D., Dybaġa, J., Czapski, P., & Skalski, P. (2017). Driver drowsiness detection systems. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów/Politechnika Warszawska*, 3(112), 41-48.
- Takeda, K., Hansen, J. H., Boyraz, P., Malta, L., Miyajima, C., & Abut, H. (2011). International large-scale vehicle corpora for research on driver behavior on the road. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 1609-1623.



Ibuprofenin ileri oksidasyon prosesleri ile gideriminin yaşam döngüsü değerlendirmesi

Sevde Üstün Odabaşı¹

^{1*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3533-4089), sevde.ustun@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011436)

ATIF/REFERENCE: Üstün Odabaşı, S. (2021). Ibuprofenin ileri oksidasyon prosesleri ile gideriminin yaşam döngüsü değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 795-801.

Öz

Steroid olmayan anti-inflamatuvar (NSAI) grubunda yer alan ibuprofen (IBU), atıksularda ve hatta içme sularında sıklıkla tespit edilmektedir. Klasik atıksu arıtma tesisleri bu ilaç kalıntılarının giderimi üzerine projelendirilmemiştir. Bu nedenle atıksu arıtma tesislerinde arıtılmayan bu mikrokirleticiler alıcı ortamlara deşaj edilmekte ve burada olumsuz etkilere neden olmaktadır. Son zamanlarda ileri oksidasyon prosesleri bu tarz mikrokirleticilerin gideriminde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada da ibuprofen gideriminin çevresel etkilerini belirlemek amacıyla iki farklı ileri oksidasyon prosesinin yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yapılmıştır. Çalışmada SimaPro 8.0.2 yazılımının CML 2 baseline metodu kullanılmıştır. Çalışma sonunda UV/H₂O₂ prosesinin çevresel etkisi daha yüksek bulunmuştur. Çevresel etkiye sebep olan en önemli parametre olarak ise elektrik enerjisi tüketimi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, İbuprofen, Fenton, UV/H₂O₂, YDD

Life cycle assessment of ibuprofen removal by advanced oxidation processes

Abstract

Ibuprofen (IBU), which is in the non-steroidal anti-inflammatory (NSAI) group, is frequently detected in wastewater and even drinking water. Conventional wastewater treatment plants were not designed for the removal of these drug residues. For this reason, these micropollutants, which cannot be treated in wastewater treatment plants, are discharged to the receiving environment and cause negative effects there. Recently, advanced oxidation processes have been frequently used for the removal of such micropollutants. In this study, life cycle assessment (LCA) of two different advanced oxidation processes was carried out to determine the environmental effects of ibuprofen removal. CML 2 baseline method of SimaPro 8.0.2 software was used in the study. At the end of the study, the environmental impact of the UV/H₂O₂ process was found to be higher. It has been determined that the most important parameter that causes environmental impact is electrical energy consumption.

Keywords: Wastewater, Ibuprofen, Fenton, UV/H₂O₂, LCA

1. Giriş

Artan dünya nüfusu ve gelişen teknolojiye paralel olarak farmasötikler ve kişisel bakım ürünlerinin (PPCP) kullanımının artması sonucu mikrokirleticiler olarak adlandırılan öncelikli kirletici türleri ortaya çıkmıştır. Bu kirleticilere sucul ortamlarda ng/L-µg/L gibi düşük konsantrasyonlarda bulunmalarından dolayı mikrokirletici denmektedir (Rodríguez ve ark., 2016; Luo ve ark., 2014). Düşük konsantrasyonlarına rağmen sucul çevreye olan etkileri oldukça yüksektir. Bu etkilerden bazıları kısa ve uzun süreli toksisite, balıklarda dişileşme, sucul canlı popülasyonunun azalması, kanserojenik ve tetratojenik etkiler, mikroorganizmaların antibiyotiğe karşı direnç kazanması sayılabilir (Sönmez, 2015). Mikrokirletici grubuna giren Ibuprofen (IBU), kimyasal adı [3-2 (metilpropil)fenil] propanoik asit, analjezik, antipiretik ve anti-inflamatuar etkilerinden dolayı grip ve ağrı kesici ilaçların içerisinde kullanılan ve reçetesizde temin edilebilmesi nedeniyle kullanımı oldukça yaygın olan bir steroid olmayan anti-inflamatuar (NSAID) ilaçtır. IBU, insan faaliyetleri sonucunda sıklıkla sucul çevreye salınmakta ve burada yüksek derişimlerde canlı yaşamı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Maryam ve ark., 2020). Mathias ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada IBU'e maruz kalan balıkların böbrek ve solungaçları üzerinde anormal değişikliklerin meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Moynan ve Welsh'in (2012) yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise IBU'nin Japon Medaka balık türlerinin yumurtlama sistemi üzerine etki ettiklerini tespit etmişlerdir. Kristensen ve ark. (2018) yapmış olduğu çalışmada ise uzun süreli IBU'e maruz kalan insanların böbrek, beyin, kardiyovasküler ve gastrointestinal sistemlerinin olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Mikrokirleticilerin kolay parçalanmamaları, kalıcı olmaları, biyoakümülyasyon ve toksik özelliklerinden dolayı sucul çevre olumsuz olarak etkilenmektedir. Mikrokirleticilerin sucul çevreye yayılmasında atıksu arıtma tesisleri birincil engel görevi görmektedir. Atıksu arıtma tesislerinden arıtılmış atıksuyun deşarjı, mikrokirleticilerin yüzeysel sulara girişi için önemli bir yoldur. Ancak, klasik atıksu arıtma tesisleri mikrokirletici giderimi için özel olarak tasarlanmayıp yetersiz kalmaktadır (Üstün Odabaşı ve ark., 2020). Bu nedenle, genellikle biyolojik işlemlerden sonra uygulanan ileri oksidasyon prosesleri, son zamanlarda mikrokirleticilerin atıksudan giderimi için etkili üçüncül basamak olarak ortaya çıkmıştır. İleri oksidasyon prosesleri (İOP) ile hidroksil radikallerinin yüksek reaktivitesini kullanarak organik bileşikler zararlı ürünlere aşamalı olarak oksitleyerek mikrokirleticileri arıtmaktadır (Klavarioti ve ark., 2009). En yaygın kullanılan İOP'ler arasında Fenton prosesi ve ultraviyole prosesler bulunmaktadır. Fenton prosesi uzun yıllardan bu yana kalıcı organik kirleticilerin arıtımında kullanılan bir prostestir. Fenton prosesi, pH ayarlama (nötralizasyon), oksidasyon reaksiyonu, koagülyasyon-flokülyasyon ve çöktürme olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Fenton prosesi, düşük maliyetli oluşu, reaktiflerinin toksisitesinin olmaması, ultraviyole ışığı girişimine ihtiyaç duymaması ve basit teknolojiye sahip olması nedeniyle sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Bello ve ark., 2019). Ancak genellikle asidik pH'larda çalışmasından dolayı reaksiyon sonunda nötralizasyon işlemine ihtiyaç duyması ve atık çamur oluşumu bu prosesi sınırlayan faktörlerdir. Su içerisinde düşük derişimde bulunan organik kirleticiler kısa dalga boylu UV ışığı etkisi ile mineralize olmaktadır. Genelde hidrojen peroksit gibi oksidanlar oluşturarak parçalanma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu parçalanma işlemleri esnasında

hidrojen peroksit konsantrasyonu önem taşımaktadır. Hidrojen peroksit konsantrasyonu yeterli olduğu durumda parçalanma hızlanırken fazla konsantrasyonda radikal parçalanmalarını engellemektedir (Rekhate ve Srivastava, 2020). UV işlemi ile arıtmanın en önemli dezavantajlarından birisi yüksek elektrik tüketim enerjisi nedeni ile işletme masraflarının fazla olmasıdır (Çatalkaya ve ark., 2004).

Herhangi bir atıksu teknolojisinin uygulanabilirliği, yalnızca bozunma ve mineralizasyon verimliliği ile değil, aynı zamanda çevresel etkileriyle de olmalıdır. Günümüzde çevresel sürdürülebilirlik kavramı her geçen gün önem kazanmaktadır. Eskiden kirleticilerin çevreden uzaklaştırılması önemliyken artık kirleticilerin arıtılmasında en çevreci yöntemin seçimi ve enerji sarfiyatı kavramları ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda çevresel sürdürülebilirliğin en iyi şekilde sağlanabilmesi ise yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yaklaşımı ile gerçekleştirilmektedir (Çolak Güneş, 2020). YDD, bir ürün ya da sistemin üretiminden bertarafına kadar tüm çevresel etkilerini inceleyen bir sistemdir. Söz konusu çevresel etkiler, asidifikasyon, ötrofikasyon, stratosferik ozon tabakasındaki inceltme, iklim değişikliği ve toksik emiyonlar gibi doğal kaynak tüketim bazlarında değerlendirilmektedir ve ark., 2019). YDD, TSE 14040 standartına göre amaç ve kapsam, envanter analizi, etki değerlendirme ve yorumlama olmak üzere dört başlıktan oluşmaktadır (Eren ve Öztürk, 2021). YDD, pek çok alanda karar vermeye yardımcı sistem olarak sıklıkla kullanılmaktadır. García-Montaño ve ark., (2006) ticari reaktif boyanın Foto-Fenton prosesi ile gideriminin YDD'sini yapmışlardır. Çalışma sonunda hidrojen peroksit tüketimi ve UV lambası için elektrik enerji gereksiniminin önemli çevresel etkilere neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, boya oksidasyonu sırasında hava ve su emisyonlarının etki kategorilerinden küresel ısınma ve ötrofikasyonu etkilediğini belirtmişlerdir. Rodríguez ve ark., (2016) homojen ve heterojen Fentonun çevresel etkilerini YDD yöntemi ile kıyaslamışlardır. Çalışma sonunda homojen Fentonun en büyük çevresel etkisinin metal iyonu içeren atık çamurun bertaraf edilmesi sorunu olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan oksidasyon için gereken yüksek sıcaklığında bir diğer çevresel etki faktörü olduğunu vurgulamışlardır. Heterojen Fenton sisteminde ise atık çamur oluşumunun daha az ve sıcaklığın daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu parametreler homojen sisteme göre avantaj sağlarken hidrojen peroksit kullanımı homojen sisteme göre dört kat fazla oluşu heterojen sisteminin dezavantajını oluşturmaktadır. Hidrojen peroksitin fazla kullanımı sürdürülebilirliği etkileyen önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm parametreler kıyaslandığında ise yine de heterojen Fenton prosesinin homojen Fenton prosesine göre daha sürdürülebilir bir sistem olduğuna karar vermişlerdir. Pesqueira ark., (2021) yaptıkları çalışmada güneş enerjisine dayalı 5 fotokataliz sisteminin (FotoFenton. TiO₂, P25, H₂O₂, TiO₂-P25, solar /H₂O₂) YDD'sini karşılaştırmışlardır. En fazla çevresel yük sıralaması FotoFenton>P25>H₂O₂>TiO₂-P25>solar/H₂O₂ şeklinde olduğunu belirlemişlerdir. Kimyasalların üretiminde enerji kullanımının çevresel etkiye sebep olan en önemli faktörlerden birisi olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle İOP'lerinde harici enerji kullanımının en aza indirilmesinin önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Bu çalışmanın amacı, İBU içeren sentetik suyun Fenton ve UV/H₂O₂ prosesleri ile giderimlerinin YDD performansını karşılaştırmak ve çevreye en duyarlı prosenin seçiminin yapılmasını sağlamaktır. Ayrıca, YDD çalışmalarında SimaPro 8.0.2 programının CML-2 baseline metodu kullanılarak en fazla

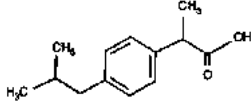
çevresel etkiye sahip etki kategorilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Kimyasallar

Çalışmada Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) ve UV/ H_2O_2 ileri oksidasyon prosesleri ile sentetik atıksudan İBU'nin giderimi incelenmiştir. Deneyler sırasında kullanılan kimyasal maddeler hidrojen peroksit (%35, Merck), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (%99,5, Sigma Aldrich), Sülfirik asit (%98, Merck), sodyum hidroksit (>%99, Merck) olup tüm analizler oda sıcaklığında gerçekleştirmiştir. LCMS/MS cihazındaki ölçümlerde kullanılan İBU standardı ise ≥ 98 saflıkta Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan İBU'nin fizikokimyasal özellikleri ve kimyasal yapısı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İbuprofenin fizikokimyasal özellikleri ve kimyasal yapısı

İlaç adı	İbuprofen
Molekül formülü	$\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_2$
Kimyasal Yapısı	
Molekül ağırlığı (g/mol)	206,3
pKa	4,9
Log K _{ow}	3,97

2.2. Sentetik Atıksuyun Hazırlanması

Sucul çevrede ve atıksu arıtma tesislerinde İBU, ng/L- $\mu\text{g/L}$ gibi küçük konsantrasyonlarda bulunduğu için çalışmada kullanılacak sentetik atıksuyun İBU konsantrasyonu 30 $\mu\text{g/L}$ olarak belirlendi. Hazırlanan atıksudaki İBU'nin tam karışımı için 48 saat boyunca çözelti manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Son olarak hazırlanan atıksuyun pH ve iletkenliği ölçülerek kontrol edilmiştir.

2.3. Deneyin Yapılışı

Hazırlanan atıksuya ilk olarak Fenton prosesi uygulanmıştır. Fenton prosesinde uygun pH, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve H_2O_2 dozları, karıştırma hızı ve süresinin belirlenmesi daha önce yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir (Üstün Odabaşı ve Büyükgüngör, 2017; Üstün Odabaşı ve ark., 2018). Fenton prosesleri düşük pH'larda etkili olduğu için çözelti pH'ı 3 olarak seçilmiştir (De la Cruz ve ark., 2012; Mirzaei ve ark., 2017). Fenton prosesi için 1000 mg/L derişiminde H_2O_2 ve 250 mg/L derişiminde $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ içeren stok çözeltiler hazırlanmıştır. İlk aşamada H_2O_2 derişimi sabit tutularak 0,0175-0,280 mM aralığında Fe^{2+} derişimleri denenmiştir. Ardından optimum Fe^{2+} derişimi belirlenerek 0,0175-0,280 mM aralığında H_2O_2 derişimleri denemiş ve optimum derişime karar verilmiştir. Fenton prosesinde numune hacmi 250 ml seçilmiş olup 5 dk 200 rpm ve 25 dk 15 rpm yavaş karıştırma olacak şekilde 30 dk süre ile karışım sağlanmıştır. Karışım sonunda çözelti pH'ı 8-8,5'a ayarlanarak reaksiyonun durdurulması sağlanmıştır. 120 dk çökeltme süresinden sonra numunenin üst kısmından örnekler alınarak LCMS/MS cihazında İBU konsantrasyon ölçümü yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Tetra marka Purfect 01 model, 50 Hz, 254 nm dalga boyunda ışık yayan UV reaktörü kullanılmıştır. UV reaktörüne numuneler peristaltik pompa aracılığı ile verilmiştir. Tüm çalışmalarda numunelerin reaktöre giriş ve reaktörden çıkış pH'ları ölçülmüştür.

2.4. Analitik Yöntemler

İBU tayini için sıvı kromatografisi sıralı kütle spektrometresi (LCMS/MS; Liquid chromatography–tandem mass spectrometry, Shimadzu LCMS 8040) kullanılmıştır. MS/MS sisteminin özellikleri; kuru gaz olarak 350°C sıcaklıkta, 2,5 L/dk akışında akışta ve 660 bar basınçta argon (Ar) gazı ve nebulizer gazı olarak 250°C sıcaklıkta, 10 L/dk akışta azot (N_2) gazı kullanılmıştır. Kapiler voltaj 4500 volt'dur. Kolon olarak Raptor Biphenyl LC kolon (Raptor Biphenyl LC Column, Restek, 50mm x 30mm x 2.7 μm , Bellefonte, PA, USA) kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı 50 °C, enjeksiyon hacmi 20 μL 'dir. Yöntemin LOD değeri 2,500 $\mu\text{g/L}$ ve LOQ $\mu\text{g/L}$ değeri 8,33 olarak hesaplanmıştır. Tablo 2'de taşıyıcı fazların kolondan zamana bağlı geçişleri verilmiştir.

Tablo 2. Gradient program

Mobil Fazlar	Zaman (dk)	Mobil Faz A (%)	Mobil Faz B (%)
(%A Distilled water+2 μm HCO_2NH_4 +500 μL CH_2O_2 , % B CH_3OH)	T=0	95	5
	T=3	5	95
	T=5	5	95
	T=5,01	95	5

2.4. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

2.4.1. Hedef ve Kapsam

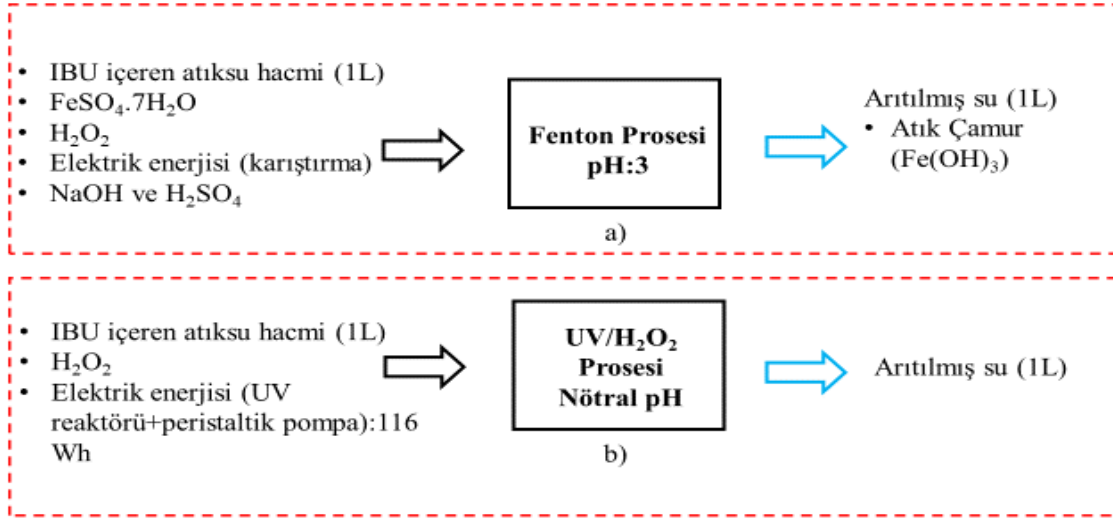
YDD çalışmasının amacı, İBU mikrokirleticisinin Fenton ve UV/ H_2O_2 prosesleri ile atıksudan gideriminin çevresel etkilerini kıyaslayarak çevreye en duyarlı prosesin seçimini sağlamaktır. Bu çalışmanın hedef kitlesini, atık su arıtma alanındaki bilim camiasını ve karar vericileri oluşturmaktadır. Sistemin işlevi İBU mikrokirleticisini atıksudan gidermektir. Fonksiyonel birim olarak 30 $\mu\text{g/L}$ İBU içeriği olan 1L atıksuyun arıtılması olarak belirlenmiştir. Sistem sınırları belirlenirken İBU'nin tamamen giderildiği koşullar optimum olarak belirlenmiş ve YDD bu koşullar üzerine kurulmuştur. Sistem sınırları Şekil 1'de verilmiştir.

2.4.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDEA)

Sistemde veri analizi yapılırken deneysel veriler, literatür ve programın veri tabanı kullanılmıştır. Her iki proses için gerçekleştirilen deneysel veriler sisteme eklenmiş ayrıca Ecoinvent (v 2.2) veri tabanından arka plan verileri alınmıştır. YDD hesaplanması için proses parametreleri ve kullanılan veriler Tablo 3'te verilmiştir. H_2SO_4 ve NaOH çözeltilerinin kullanımları çok az olduğu için YDD envanterine katılmayıp ihmal edilmiştir. Farklı proseslerin yaşam döngüsü değerlendirilmesi için çalışmada YDD metodolojisi olarak CML 2 baseline metodu kullanılmıştır. Farmasötik ürünün üretiminden kaynaklı atıksu emisyonlarının değerlendirilmesi yapıldığında ağırlıklı olarak "sucul ekosistem"

üzerinde toksik etkiye neden olabileceği tespit edilmiştir (Aydın, 2016). Bu nedenle atıksuların yaşam döngüsü değerlendirmesinde

sıklıkla kullanılan metot olan CML 2 baseline metodu tercih edilmiştir.



Şekil 1. Sistem sınırları

CML 2 baseline metodu değerlendirme karakterizasyon ve normalizasyon bölümlerinden oluşmaktadır. Ancak daha çok karakterizasyon üzerinde durulmaktadır. CML 2 baseline metodu abiyotik tükenme, asidifikasyon, ötrofikasyon, küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakasının incelmeye, insan toksisitesi, tatlı su ekotoksitesitesi, deniz suyu ekotoksitesitesi, karasal ekotoksitesite ve fotokimyasal oksidasyon etki kategorilerinden oluşmaktadır. Abiyotik tükenme, doğal kaynakların tükenmesini ifade etmektedir. İklim değişikliği etki kategorisi ise havaya salınan sera gazları ile ilgilidir. Stratosferik ozon tabakasındaki inceleme UV-B ışınları ile ilgilidir. Bu ışınlar yeryüzüne çok çabuk ulaşır ve ozon tabakasının incelmeye ile daha fazla ışın yeryüzeyine ulaşarak buradaki canlı yaşantısının olumsuz etkilemesini incelemektedir.

Tablo 3. YDD hesaplamalarında kullanılan proses verileri

	Fenton	UV/H ₂ O ₂
Girdiler, Kimyasallar (mg)		
H ₂ O ₂	3,57	3,57
FeSO ₄	58,39	-
H ₂ SO ₄	İhmal edildi	-
NaOH	İhmal edildi	-
Enerji girdileri		
Elektrik enerjisi (Wh) (karıştırma)	19	
Elektrik enerjisi (Wh) (UV lambası)	-	16
Elektrik enerjisi (Wh) (pompa)	-	100
Çıktılar, suya emisyon (mg)		
Fe(OH) ₃	22,47	-

Tatlı su ekotoksitesitesi ise hava, su ve topraktaki toksik maddelerin emisyonlarının bir sonucu olarak, tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Deniz ekotoksitesitesi deniz ekosistemleri üzerindeki toksik maddelerin etkilerini ifade etmektedir. Karasal ekotoksitesite ise karasal ekosistemler üzerindeki toksik maddelerin etkilerine

değirmektedir. Fotokimyasal oksidasyon ise tarımsal ürünlere, insan sağlığına ve ekosisteme zarar veren reaktif maddelerin oluşumunu açıklayan etki kategorisini ifade etmektedir. Asidifikasyon, asitleştirici maddelerin toprak, yeraltı suyu, yüzeysel sular, organizmalar, ekosistemler ve maddeler üzerinde yarattığı toksik etkiyi temsil etmektedir. Ötrofikasyon ise havaya, suya ve toprağa besi maddelerinin aşırı salınımı nedeniyle oluşan makro besi maddelerinin artışının sebep olduğu etkileri ifade eden bir etki kategorisidir (Aydın, 2016).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Proses Performansları

Çalışmada IBU'in sentetik atık sudan giderilmesi amacıyla Fenton ve UV/H₂O₂ prosesleri olmak üzere iki farklı yöntem ile giderim verimleri kıyaslanmıştır. 30 dakikalık Fenton prosesi sonunda 0,21 mM Fe⁺² ve 0,105 mM H₂O₂ değerlerinde optimum giderim verimi elde edilmiş olup IBU'nin yaklaşık %100'ü giderilmiştir. UV prosesi için ise yine 0,105 mM H₂O₂ ilavesi ve 25 dakikalık UV lambası çalıştırılması ile yaklaşık %100 IBU giderimi sağlanmıştır. Her iki proses ile de çıkış suyunda İBU'e rastlanmamış ve tamamen giderilmiştir.

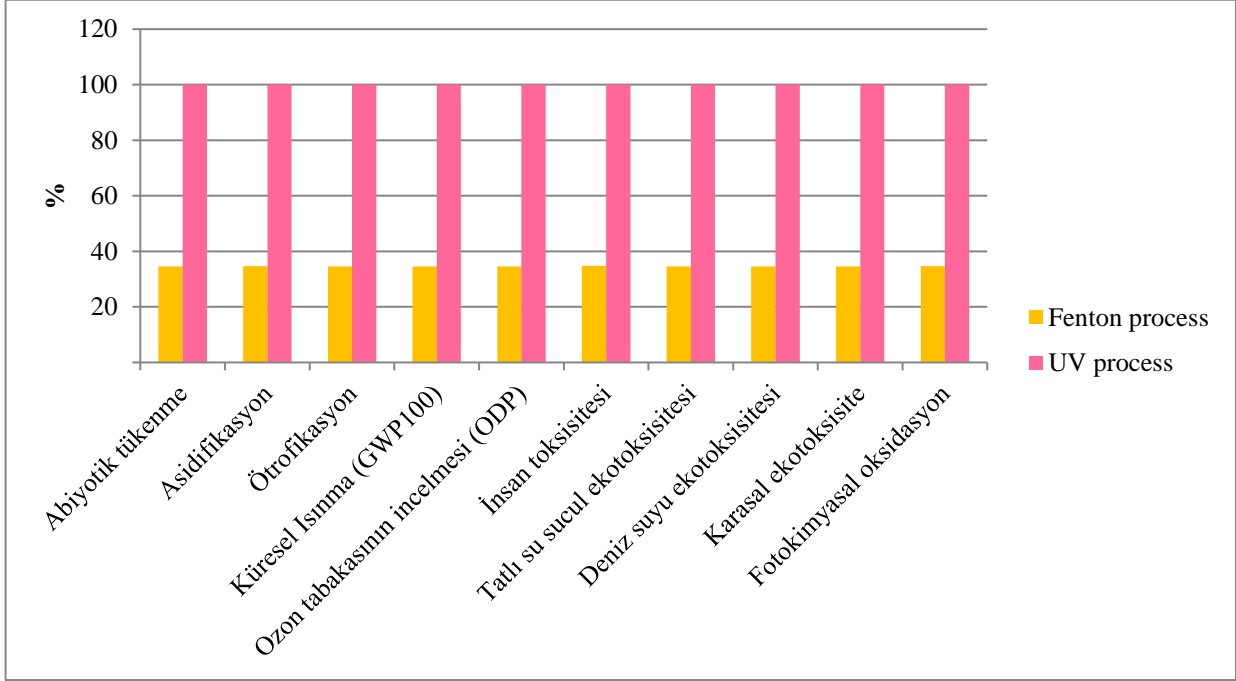
3.2. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)

Çalışmada program verileri sisteme girildikten sonra Fenton ve UV/H₂O₂ proseslerinin karşılaştırılması için CML 2 baseline programı ile çevresel etkileri incelenmiştir. Test edilen iki prosesden UV/H₂O₂ prosesinin en fazla çevresel etkiye sahip olan proses olduğu belirlenmiştir. Bu kategoriler için sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir.

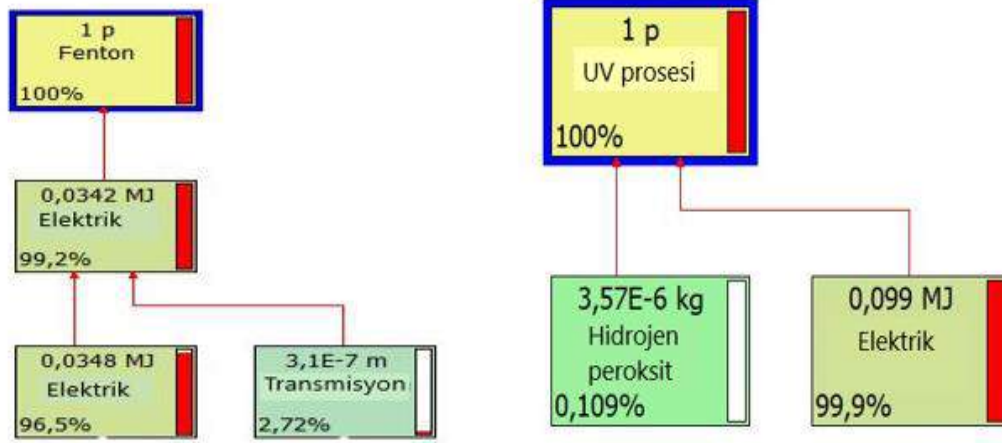
Sonuçlar incelendiğinde UV/H₂O₂ prosesinin çevresel etkilerinin tüm etki kategorilerinde daha yüksek çıkmasının nedeni kullanılan elektrik enerjisinin Fenton prosesine göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Fenton prosesinde atık çamur oluşmasına rağmen UV/H₂O₂ prosesinde UV sistemi ve bu sisteme numune girişini sağlayan peristaltik pompanın elektrik enerjisini fazla kullanması çevresel etkiyi arttırmıştır. Fenton prosesi ve UV/H₂O₂ prosesleri incelendiğinde her iki proseste de en fazla çevresel etki elektrik enerjisi tüketiminden

kaynaklanmaktadır. Fenton ve UV/H₂O₂ proseslerinde elektrik enerjisinin kullanımı etki kategorilerinden en fazla insan toksisitesini etkilemiştir. Şekil 3'te Fenton ve UV/H₂O₂ proseslerinin insan toksisitesinin ağ sistemi verilmektedir. YDD ile tüm mekanizmanın çevresel boyutu ele alınmaktadır. Fenton prosesinin fazla kimyasal madde tüketmesi ve sonuçta çamur problemi oluşturması gibi sorunlardan dolayı çevresel etkisi

yüksekmiş gibi görünse de UV/H₂O₂ prosesinin çok fazla elektrik enerjisi tüketmesinden dolayı Fenton prosesinin olumsuz etkileri elimine edilmiştir. UV lambasının ömrünün sınırlı olması da UV/H₂O₂ sisteminin dezavantajlarını oluşturmaktadır.



Şekil 2. CML 2 baseline metoduna göre Fenton ve UV/H₂O₂ proseslerinin orta noktalara göre karşılaştırılması



Şekil 3. CML 2 baseline metodu insan toksisitesi ağ görüntüsü a) UV/H₂O₂ prosesi b)Fenton prosesi

3.3. Maliyet Analizi

Çalışmada çevresel açıdan değerlendirmenin yanı sıra maliyet açısından da değerlendirme yapılması gerektiği düşünülmüştür. Çünkü bir sisteme karar vermede pek çok değişken etkilidir. Bu nedenle her iki sistemde kullanılan tüm girdilerin maliyeti hesaplanarak en uygun prosesin seçilmesi amaçlanmıştır. Maliyet analizi yapılırken kullanılan kimyasalların fiyatı, FeSO₄·7H₂O'unun 1kg ambalaj fiyatı 210 TL ve H₂O₂'nin 1 L'lik ambalaj fiyatı 290 TL'dir (Merck, 2021). Elektrik birim fiyatı ise 1 kWh 'i 47,43 kuruştur. Tablo 4'te maliyet hesabı verilmiştir (TEIAS, 2021).

Tablo 4. Fenton ve UV/H₂O₂ proseslerinin maliyet hesabı

Proses	Fe ⁺²	H ₂ O ₂	Elektrik Enerjisi	Toplam (krş)	1m ³ (TL)
Fenton	0,986	0,261	0,450	1,697	16,97
UV/H ₂ O ₂		0,261	2,294	2,555	25,55

Maliyet analizi sonuçlarına göre de UV/H₂O₂ prosesi en maliyetli proses olarak bulunmuştur. Bunun sebebi ise elektrik enerjisi tüketiminin kimyasal tüketimlerine göre fazla olmasıdır. Fenton prosesinde kullanılan H₂SO₄ ve NaOH çözeltilerinin miktarı çok az olduğu için maliyet hesabında ihmal edilmiştir.

4. Sonuç

Fenton ve UV/H₂O₂ prosesleri ile İBU gideriminin çevresel etkisi değerlendirilmiştir. YDD çalışması sonucunda en fazla çevresel etkiye sahip olan proses olarak UV/H₂O₂ prosesi bulunmuştur. Bunun nedeni olarak ise sistemin çalışma prensibinden kaynaklanan elektrik tüketimi olduğu tespit edilmiştir. CML 2 baseline metodunun etki kategorilerinden en fazla etkiyi insan toksisitesinin oluşturduğu tespit edilmiştir. İnsan toksisitesine etki eden her iki prosesin parametreleri incelendiğinde bu etkinin proseslerde kullanılan elektrik enerjisinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca bu sistemlerin maliyet hesabı yapılarak maliyeti en fazla olan sistem belirlenmiştir. Maliyet hesabı sonunda UV/H₂O₂ prosesinin

Kaynakça

- Bello, M. M., Abdul Raman, A. A., & Asghar, A. (2019). A review on approaches for addressing the limitations of Fenton oxidation for recalcitrant wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 126, 119–140. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.028>
- Çatalkaya, E., Bali, U., & Şengül, F. (2004). Fenol'ün fotokimyasal yöntemlerle parçalanması ve mineralizasyonu. *SKKD*, 14(3), 31–41.
- Çolak Güneş, N. (2020). Yaşam Döngüsü Analizi ile Konsantre Şeftali Püresinin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 18(3), 247–255. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.818098>
- De la Cruz, N., Giménez, J., Esplugas, S., Grandjean, D., De Alencastro, L. F., & Pulgarín, C. (2012). Degradation of 32 emergent contaminants by UV and neutral photo-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge. *Water Research*, 46(6), 1947–1957. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.01.014>
- Eren, Ö., & Öztürk, H. (2021). Tatlı Sorgum (*Sorghum Bicolor* (L.) Biyokütlesinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ile Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (22), 195–203. <https://doi.org/10.31590/ejosat.852286>
- García-Montaña, J., Ruiz, N., Muñoz, I., Domènech, X., García-Hortal, J. A., Torrades, F., & Peral, J. (2006). Environmental assessment of different photo-Fenton approaches for commercial reactive dye removal. *Journal of Hazardous Materials*, 138(2), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.05.061>
- Klavarioti, M., Mantzavinos, D., & Kassinos, D. (2009). Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environment International*, 35(2) Huang, C P, Dong, Chengdi, and Tang, Zhonghung. Advanced chemical oxidation: Its present role and potential future in hazardous waste treatment. United States: N. p., 1993. Web. doi:10.1016/0956-053X(93)90070-D., 402–417. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2008.07.009>
- Kristensen, D. M., Desdoits-Lethimonier, C., Mackey, A. L., Dalgaard, M. D., De Masi, F., Munkbøl, C. H., ... Jégou, B. (2018). Ibuprofen alters human testicular physiology to produce a state of compensated hypogonadism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(4), e-ISSN: 2148-2683

kullanılan elektrik enerjisinden dolayı maliyetinin daha yüksek çıktığı sonucuna varılmıştır. Hem maliyet hem de çevresel açıdan düşünüldüğünde Fenton prosesinin tercih edilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir. Ayrıca şu an hali hazırda SimaPro programının içerisinde farmasötiklerin çevresel etkilerine yönelik herhangi bir veri tabanı bulunmamaktadır. Bu amaçla USEtox adı verilen bir model kullanılmaktadır. USEtox, kimyasalların insan ve ekotoksikolojik etkilerini karakterize etmek için UNEP/SETAC Yaşam Döngüsü Girişimi tarafından onaylanan bilimsel bir fikir birliği modelidir. Bu model kullanılarak USEtox veri tabanında bulunan karakterizasyon faktörleri ile ekotoksikite hesaplarının yapılarak çalışmanın geliştirilmesi mümkündür.

715–724. <https://doi.org/10.1073/pnas.1715035115>

- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., ... Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 473–474, 619–641. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2013.12.065>
- Maryam, B., Buscio, V., Odabasi, S. U., & Buyukgungor, H. (2020). A study on behavior, interaction and rejection of Paracetamol, Diclofenac and Ibuprofen (PhACs) from wastewater by nanofiltration membranes. *Environmental Technology and Innovation*, 18, 100641. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100641>
- Mathias, F. T., Fockink, D. H., Disner, G. R., Prodocimo, V., Ribas, J. L. C., Ramos, L. P., ... Silva de Assis, H. C. (2018). Effects of low concentrations of ibuprofen on freshwater fish *Rhamdia quelen*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 59, 105–113. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.03.008>
- Merck. (2021). <https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/erişim:13.10.2021>
- Mirzaei, A., Chen, Z., Haghghat, F., & Yerushalmi, L. (2017). Removal of pharmaceuticals from water by homo/heterogonous Fenton-type processes – A review. *Chemosphere*, 174, 665–688. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.019>
- Moynan, A. B., & Welsh, C. A. (2012). The Photodegradation of Ibuprofen and Dissolved Organic Matter in Lake Superior and St. Louis River Water. *Zebrafish*, 9(4), 179–184. <https://doi.org/10.1089/zeb.2012.0754>
- Pesqueira, J. F. J. R., Pereira, M. F. R., & Silva, A. M. T. (2021b). A life cycle assessment of solar-based treatments (H₂O₂, TiO₂ photocatalysis, circumneutral photo-Fenton) for the removal of organic micropollutants. *Science of The Total Environment*, 761, 143258. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143258>
- Rekhate, C. V., & Srivastava, J. K. (2020). Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater- A review. *Chemical Engineering Journal Advances*, 3(June), 100031. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.100031>
- Rodríguez, R., Espada, J. J., Pariente, M. I., Melero, J. A., Martínez, F., & Molina, R. (2016b). Comparative life cycle assessment (LCA) study of heterogeneous and homogenous Fenton processes for the treatment of pharmaceutical

- wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 124, 21–29.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.064>
- Salihoğlu, G., Poroy, Z., & Salihoğlu, N. K. (2019). Life Cycle Assessment for Municipal Waste Management: Analysis for Bursa. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(6), 692–699.
<https://doi.org/10.5505/pajes.2018.33603>
- Schwaiger, J., Ferling, H., Mallow, U., Wintermayr, H., & Negele, R. D. (2004). Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac: Part I: histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, 68(2), 141–150.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.03.014>
- Aydın, S. (2016). *Pamuklu Ev Tekstil Ürünlerinin Üretim Süreçleri ve Nihai Ürünlerin Yaşam Döngüsünün Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Sönmez, G. (2015). *İleri Oksidasyon Prosesleri ile Bazı İlaç Kalıntılarının Giderimi*. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- TEIAS. (2021). https://www.tedas.gov.tr/#!tedas_tarifeler erişim: 13.10.2021
- Üstün-Odabaşı, S., Maryam, B., Özdemir, N., & Büyükgüngör, H. (2020). Occurrence and seasonal variations of pharmaceuticals and personal care products in drinking water and wastewater treatment plants in Samsun, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79(12).
<https://doi.org/10.1007/s12665-020-09047-7>
- Üstün Odabaşı, S., & Büyükgüngör, H. (2017). Investigation and Evaluation of Degradability of Ibuprofen from Wastewater by Using Fenton Process Publication Info Investigation and Evaluation of Degradability of Ibuprofen from Wastewater by Using Fenton Process. *European Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2(1), 114–119.
- Üstün Odabaşı, S., Maryam, B., & Büyükgüngör, H. (2018). Fenton Oxidation of Carbamazepine in Wastewater with Fewer Reagents. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(1), 289–298.



Some Notions on Interval-Valued Neutrosophic Sets

Yıldıray Çelik^{1*}

^{1*} Ordu University, Faculty of Science and Arts, Department of Mathematics, Ordu, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3373-3916)
ycelik61@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011428)

ATIF/REFERENCE: Çelik, Y. (2021). Some Notions on Interval-Valued Neutrosophic Sets. *European Journal of Science and Technology*, (28), 802-805.

Abstract

In this study, we give some new notions such as intersection, union and complement on interval-valued neutrosophic sets and introduce basic properties related these notions.

Keywords: Fuzzy set, Intuitionistic fuzzy set, Interval-valued fuzzy set, Neutrosophic set, Interval-valued neutrosophic set.

Aralık-Değerli Neutrosophic Kümeler Üzerinde Bazı Kavramlar

Öz

Biz bu çalışmada aralık-değerli neutrosophic kümeler üzerinde arakesit, birleşim ve tümleyen gibi bazı yeni kavramlar verdik ve bu kavramlar ile ilişkili temel özellikleri inceledik.

Anahtar Kelimeler: Bulanık küme, Sezgisel bulanık küme, Aralık-değerli bulanık küme, Neutrosophic küme, Aralık-değerli neutrosophic küme.

* Corresponding Author: ycelik61@gmail.com

1. Introduction

Fuzzy set theory [1] was put forward to develop solutions to problems involving uncertainty. A fuzzy set is characterized with the help of a membership function. In the set A , the degree of belonging of an element to the set is $\mu_A(x)$, while the degree of non-belonging is naturally $1 - \mu_A(x)$. Thus, the sum of the degrees of belonging and non-belonging is equal to 1. However, this approach is not an effective method in dealing with uncertainty in real life applications. Because the sum of the degrees of belonging and non-belonging can be less than one. For this reason, Atanassov [2], by adding the nonmembership function to the membership function in fuzzy sets, introduced the intuitionistic fuzzy set theory which is a generalized version of the fuzzy set theory for more precise measurements of belonging. By adding the uncertainty function as a third component to the membership function and the non membership function, neutrosophic set theory which is a special case of fuzzy logic introduced by Smarandache [3]. In neutrosophic sets, the correct membership function and the non-membership function are independent from each other, and this situation making it more flexible and more realistic than modeling using intuitionistic fuzzy sets. Wang et al. [4] defined the concept of a single valued neutrosophic set for convenience in applications. For precise membership measurements, Zhang et al. [5] extended single-valued neutrosophic sets to interval-valued neutrosophic sets and described some operations related to these sets. Lupianez [6] examined the relations between interval neutrosophic sets and topology. In our study, some notions are defined on interval-valued neutrosophic sets (ivns). Then, considering these defined notions, some fundamental theorems for interval valued neutrosophic sets (ivns) are proved.

2. Preliminaries

Definition 2.1 [1] Let $X \neq \emptyset$ be a set. The function $\mu: X \rightarrow [0,1]$ is called fuzzy subset and is defined by $\mu = \{(\alpha, \mu(\alpha)): \alpha \in X, \mu(\alpha) \in [0,1]\}$.

Let μ and ν be two fuzzy subset of X . Then,

$\mu \leq \nu$ if and only if $\mu(\alpha) \leq \nu(\alpha)$ for all $\alpha \in X$.

Definition 2.2 [7] An interval-valued fuzzy set μ on the universe $X \neq \emptyset$ is a mapping $\mu: X \rightarrow [0,1]$ such that the membership degree of $\alpha \in X$ is given by $\mu(\alpha) = [\mu(\alpha)^l, \mu(\alpha)^u] \subseteq [0,1]$, where $\mu(\alpha)^l$ and $\mu(\alpha)^u$ denotes the lower and the upper bound of $\mu(\alpha)$, respectively.

Definition 2.3 [8] A neutrosophic set A on the universe X is defined as

$A = \{(\alpha, T_A(\alpha), I_A(\alpha), F_A(\alpha)), \alpha \in X\}$, where the functions $T, I, F: X \rightarrow [0,1]$ define a truth-membership, an indeterminacy-membership and a falsity-membership functions of an element $\alpha \in X$ for a set A , respectively, with the condition $-0 \leq T_A(\alpha) + I_A(\alpha) + F_A(\alpha) \leq 3^+$.

3. Some Notions on Interval-Valued Neutrosophic Sets

Definition 3.1 [9] An ivns \hat{A} over X is characterized by truth membership function $T_{\hat{A}}(\alpha)$, indeterminacy membership function $I_{\hat{A}}(\alpha)$ and falsity membership function $F_{\hat{A}}(\alpha)$ of an element $\alpha \in X$ for a set \hat{A} , respectively, and defined by $\hat{A} = \{(\alpha, T_{\hat{A}}(\alpha), I_{\hat{A}}(\alpha), F_{\hat{A}}(\alpha)): \alpha \in X\}$. For all $\alpha \in X$, one has that

$$T_{\hat{A}}(\alpha) = [T_{\hat{A}}^l(\alpha), T_{\hat{A}}^u(\alpha)]$$

$$I_{\hat{A}}(\alpha) = [I_{\hat{A}}^l(\alpha), I_{\hat{A}}^u(\alpha)]$$

$$F_{\hat{A}}(\alpha) = [F_{\hat{A}}^l(\alpha), F_{\hat{A}}^u(\alpha)]$$

The family of all ivns over X is showed by $IVN(X)$.

Definition 3.2 Let $\hat{A} \in IVN(X)$. Then,

i. If $\hat{A} = \{(\alpha, [0,0], [1,1], [1,1]) | \alpha \in X\}$, then \hat{A} is called empty ivns and denoted by \emptyset .

ii. If $\hat{A} = \{(\alpha, [1,1], [0,0], [0,0]) | \alpha \in X\}$, then \hat{A} is called totally ivns and denoted by $\hat{\Omega}$.

iii. The complement of \hat{A} is defined by

$$\overline{\hat{A}} = \{(\alpha, [F_{\hat{A}}^l(\alpha), F_{\hat{A}}^u(\alpha)], [1 - I_{\hat{A}}^u(\alpha), 1 - I_{\hat{A}}^l(\alpha)],$$

$$[T_{\hat{A}}^l(\alpha), T_{\hat{A}}^u(\alpha)]) | \alpha \in X\}$$

for all $\alpha \in X$.

Definition 3.3 Let $\hat{A}, \hat{B} \in IVN(X)$. Then \hat{A} is said to be ivn subset of \hat{B} iff

$$T_{\hat{A}}^l(\alpha) \leq T_{\hat{B}}^l(\alpha) \quad T_{\hat{A}}^u(\alpha) \leq T_{\hat{B}}^u(\alpha)$$

$$I_{\hat{A}}^l(\alpha) \geq I_{\hat{B}}^l(\alpha) \quad I_{\hat{A}}^u(\alpha) \geq I_{\hat{B}}^u(\alpha)$$

$$F_{\hat{A}}^l(\alpha) \geq F_{\hat{B}}^l(\alpha) \quad F_{\hat{A}}^u(\alpha) \geq F_{\hat{B}}^u(\alpha)$$

for all $\alpha \in X$. This situation is denoted by $\hat{A} \hat{\subseteq} \hat{B}$.

Definition 3.4 Let $\hat{A}, \hat{B} \in IVN(X)$. Then,

i. The intersection of \hat{A} and \hat{B} is defined by

$$\hat{A} \hat{\cap} \hat{B} = \{(\alpha, [\min\{T_{\hat{A}}^l(\alpha), T_{\hat{B}}^l(\alpha)\}, \min\{T_{\hat{A}}^u(\alpha), T_{\hat{B}}^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{I_{\hat{A}}^l(\alpha), I_{\hat{B}}^l(\alpha)\}, \max\{I_{\hat{A}}^u(\alpha), I_{\hat{B}}^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{F_{\hat{A}}^l(\alpha), F_{\hat{B}}^l(\alpha)\}, \max\{F_{\hat{A}}^u(\alpha), F_{\hat{B}}^u(\alpha)\}])$$

$|\alpha \in X\}$

for all $\alpha \in X$.

ii. The union of \hat{A} and \hat{B} is defined by

$$\hat{A} \hat{\cup} \hat{B} = \{(\alpha, [\max\{T_{\hat{A}}^l(\alpha), T_{\hat{B}}^l(\alpha)\}, \max\{T_{\hat{A}}^u(\alpha), T_{\hat{B}}^u(\alpha)\}],$$

$$[\min\{I_{\hat{A}}^l(\alpha), I_{\hat{B}}^l(\alpha)\}, \min\{I_{\hat{A}}^u(\alpha), I_{\hat{B}}^u(\alpha)\}],$$

$$[\min\{F_{\hat{A}}^l(\alpha), F_{\hat{B}}^l(\alpha)\}, \min\{F_{\hat{A}}^u(\alpha), F_{\hat{B}}^u(\alpha)\}])$$

$|\alpha \in X\}$

for all $\alpha \in X$.

It is clearly seen that intersection and union of two ivns are ivns.

Theorem 3.5 Let $\hat{A} \in IVN(X)$. Then,

i. $\dot{A} \hat{\cap} \dot{\emptyset} = \dot{\emptyset}, \quad \dot{A} \hat{\cap} \dot{\Omega} = \dot{A}$

ii. $\dot{A} \hat{\cup} \dot{\emptyset} = \dot{A}, \quad \dot{A} \hat{\cup} \dot{\Omega} = \dot{\Omega}$

Proof. Let's consider ivns \dot{A} on X as follows.

$$\dot{A} = \{ \langle \alpha, [T_A^l(\alpha), T_A^u(\alpha)], [I_A^l(\alpha), I_A^u(\alpha)],$$

$$[F_A^l(\alpha), F_A^u(\alpha)] \rangle : \alpha \in X \}$$

i. For all $\alpha \in X$,

$$\begin{aligned} \dot{A} \hat{\cap} \dot{\emptyset} = \{ \langle \alpha, [\min\{T_A^l(\alpha), T_{\emptyset}^l(\alpha)\}, \min\{T_A^u(\alpha), T_{\emptyset}^u(\alpha)\}], \\ [\max\{I_A^l(\alpha), I_{\emptyset}^l(\alpha)\}, \max\{I_A^u(\alpha), I_{\emptyset}^u(\alpha)\}], \\ [\max\{F_A^l(\alpha), F_{\emptyset}^l(\alpha)\}, \max\{F_A^u(\alpha), F_{\emptyset}^u(\alpha)\}] \rangle \} \end{aligned}$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$= \{ \langle \alpha, [\min\{T_A^l(\alpha), 0\}, \min\{T_A^u(\alpha), 0\}],$$

$$[\max\{I_A^l(\alpha), 1\}, \max\{I_A^u(\alpha), 1\}],$$

$$[\max\{F_A^l(\alpha), 1\}, \max\{F_A^u(\alpha), 1\}] \rangle \}$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$= \{ \langle \alpha, [0, 0], [1, 1], [1, 1] \rangle | \alpha \in X \} = \dot{\emptyset}$$

The case $\dot{A} \hat{\cap} \dot{\Omega} = \dot{A}$ can be shown similarly.

ii. For all $\alpha \in X$,

$$\begin{aligned} \dot{A} \hat{\cup} \dot{\Omega} = \{ \langle \alpha, [\max\{T_A^l(\alpha), T_{\Omega}^l(\alpha)\}, \max\{T_A^u(\alpha), T_{\Omega}^u(\alpha)\}], \\ [\min\{I_A^l(\alpha), I_{\Omega}^l(\alpha)\}, \min\{I_A^u(\alpha), I_{\Omega}^u(\alpha)\}], \\ [\min\{F_A^l(\alpha), F_{\Omega}^l(\alpha)\}, \min\{F_A^u(\alpha), F_{\Omega}^u(\alpha)\}] \rangle \} \end{aligned}$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$= \{ \langle \alpha, [\max\{T_A^l(\alpha), 1\}, \max\{T_A^u(\alpha), 1\}],$$

$$[\min\{I_A^l(\alpha), 0\}, \min\{I_A^u(\alpha), 0\}],$$

$$[\min\{F_A^l(\alpha), 0\}, \min\{F_A^u(\alpha), 0\}] \rangle \}$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$= \{ \langle \alpha, [1, 1], [0, 0], [0, 0] \rangle | \alpha \in X \} = \dot{\Omega}$$

The case $\dot{A} \hat{\cup} \dot{\emptyset} = \dot{A}$ can be shown in a similar way.

Theorem 3.6 Let $\dot{A}, \dot{B}, \dot{C} \in IVN(X)$. Then,

i. $(\dot{A} \hat{\cap} \dot{B}) \hat{\cap} \dot{C} = \dot{A} \hat{\cap} (\dot{B} \hat{\cap} \dot{C})$

ii. $(\dot{A} \hat{\cup} \dot{B}) \hat{\cup} \dot{C} = \dot{A} \hat{\cup} (\dot{B} \hat{\cup} \dot{C})$

iii. $\dot{A} \hat{\cap} (\dot{B} \hat{\cup} \dot{C}) = (\dot{A} \hat{\cap} \dot{B}) \hat{\cup} (\dot{A} \hat{\cap} \dot{C})$

iv. $\dot{A} \hat{\cup} (\dot{B} \hat{\cap} \dot{C}) = (\dot{A} \hat{\cup} \dot{B}) \hat{\cap} (\dot{A} \hat{\cup} \dot{C})$

Proof. Let's consider ivns \dot{A}, \dot{B} and \dot{C} on X as follows.

$$\dot{A} = \{ \langle \alpha, [T_A^l(\alpha), T_A^u(\alpha)], [I_A^l(\alpha), I_A^u(\alpha)],$$

$$[F_A^l(\alpha), F_A^u(\alpha)] \rangle : \alpha \in X \}$$

$$\dot{B} = \{ \langle \alpha, [T_B^l(\alpha), T_B^u(\alpha)], [I_B^l(\alpha), I_B^u(\alpha)],$$

$$[F_B^l(\alpha), F_B^u(\alpha)] \rangle : \alpha \in X \}$$

$$\dot{C} = \{ \langle \alpha, [T_C^l(\alpha), T_C^u(\alpha)], [I_C^l(\alpha), I_C^u(\alpha)],$$

$$[F_C^l(\alpha), F_C^u(\alpha)] \rangle : \alpha \in X \}$$

i. For all $\alpha \in X$,

$$(\dot{A} \hat{\cap} \dot{B}) \hat{\cap} \dot{C} = \{ \langle \alpha, [\min\{\min\{T_A^l(\alpha), T_B^l(\alpha)\}, T_C^l(\alpha)\},$$

$$\min\{\min\{T_A^u(\alpha), T_B^u(\alpha)\}, T_C^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{\max\{I_A^l(\alpha), I_B^l(\alpha)\}, I_C^l(\alpha)\},$$

$$\max\{\max\{I_A^u(\alpha), I_B^u(\alpha)\}, I_C^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{\max\{F_A^l(\alpha), F_B^l(\alpha)\}, F_C^l(\alpha)\},$$

$$\max\{\max\{F_A^u(\alpha), F_B^u(\alpha)\}, F_C^u(\alpha)\}] \rangle \}$$

$$= \{ \langle \alpha, [\min\{T_A^l(\alpha), \min\{T_B^l(\alpha), T_C^l(\alpha)\}],$$

$$\min\{T_A^u(\alpha), \min\{T_B^u(\alpha), T_C^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{I_A^l(\alpha), \max\{I_B^l(\alpha), I_C^l(\alpha)\}],$$

$$\max\{I_A^u(\alpha), \max\{I_B^u(\alpha), I_C^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{F_A^l(\alpha), \max\{F_B^l(\alpha), F_C^l(\alpha)\}],$$

$$\max\{F_A^u(\alpha), \max\{F_B^u(\alpha), F_C^u(\alpha)\}] \rangle \}$$

$$= \dot{A} \hat{\cap} (\dot{B} \hat{\cap} \dot{C})$$

ii. It is straightforward.

iii. For all $x \in X$,

$$\begin{aligned} \dot{A} \hat{\cap} (\dot{B} \hat{\cup} \dot{C}) = \{ \langle \alpha, [\min\{T_A^l(\alpha), \max\{T_B^l(\alpha), T_C^l(\alpha)\}], \\ \min\{T_A^u(\alpha), \max\{T_B^u(\alpha), T_C^u(\alpha)\}], \\ [\max\{I_A^l(\alpha), \min\{I_B^l(\alpha), I_C^l(\alpha)\}], \\ \max\{I_A^u(\alpha), \min\{I_B^u(\alpha), I_C^u(\alpha)\}], \\ [\max\{F_A^l(\alpha), \min\{F_B^l(\alpha), F_C^l(\alpha)\}], \\ \max\{F_A^u(\alpha), \min\{F_B^u(\alpha), F_C^u(\alpha)\}] \rangle \} \end{aligned}$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$= \{ \langle \alpha, [\max\{\min\{T_A^l(\alpha), T_B^l(\alpha)\}, \min\{T_A^l(\alpha), T_C^l(\alpha)\}],$$

$$\max\{\min\{T_A^u(\alpha), T_B^u(\alpha)\}, \min\{T_A^u(\alpha), T_C^u(\alpha)\}],$$

$$[\min\{\max\{I_A^l(\alpha), I_B^l(\alpha)\}, \max\{I_A^l(\alpha), I_C^l(\alpha)\}],$$

$$\min\{\max\{I_A^u(\alpha), I_B^u(\alpha)\}, \max\{I_A^u(\alpha), I_C^u(\alpha)\}],$$

$$[\min\{\max\{F_A^l(\alpha), F_B^l(\alpha)\}, \max\{F_A^l(\alpha), F_C^l(\alpha)\}],$$

$$\min\{\max\{F_A^u(\alpha), F_B^u(\alpha)\}, \max\{F_A^u(\alpha), F_C^u(\alpha)\}] \rangle \}$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$= (\dot{A} \hat{\cap} \dot{B}) \hat{\cup} (\dot{A} \hat{\cap} \dot{C})$$

iv. It is straightforward.

Theorem 3.7 Let \dot{A} and \dot{B} be two ivns on X . Then,

i. $\overline{(\dot{A} \hat{\cap} \dot{B})} = \overline{\dot{A}} \hat{\cup} \overline{\dot{B}}$

ii. $\overline{(\dot{A} \hat{\cup} \dot{B})} = \overline{\dot{A}} \hat{\cap} \overline{\dot{B}}$

Proof. Let's consider ivns \dot{A} and \dot{B} on X as follows.

$$\dot{A} = \{ \langle \alpha, [T_A^l(\alpha), T_A^u(\alpha)], [I_A^l(\alpha), I_A^u(\alpha)], [F_A^l(\alpha), F_A^u(\alpha)] \rangle$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$\dot{B} = \{\langle \alpha, [T_B^l(\alpha), T_B^u(\alpha)], [I_B^l(\alpha), I_B^u(\alpha)], [F_B^l(\alpha), F_B^u(\alpha)] \rangle$$

$$|\alpha \in X\}$$

i. For all $x \in X$

$$\dot{A} \hat{\cap} \dot{B} = \{\langle \alpha, [\min\{T_A^l(\alpha), T_B^l(\alpha)\}, \min\{T_A^u(\alpha), T_B^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{I_A^l(\alpha), I_B^l(\alpha)\}, \max\{I_A^u(\alpha), I_B^u(\alpha)\}],$$

$$[\max\{F_A^l(\alpha), F_B^l(\alpha)\}, \max\{F_A^u(\alpha), F_B^u(\alpha)\}]\rangle$$

$$|\alpha \in X\}$$

$$\overline{(\dot{A} \hat{\cap} \dot{B})} = \{\langle \alpha, [\max\{F_A^l(\alpha), F_B^l(\alpha)\}, \max\{F_A^u(\alpha), F_B^u(\alpha)\}],$$

$$[\min\{1 - I_A^u(\alpha), 1 - I_B^u(\alpha)\}, \min\{1 - I_A^l(\alpha), 1 - I_B^l(\alpha)\}],$$

$$\min\{T_A^l(\alpha), T_B^l(\alpha)\}, \min\{T_A^u(\alpha), T_B^u(\alpha)\} \rangle |\alpha \in X\}$$

$$= \{\langle \alpha, [F_A^l(\alpha), F_A^u(\alpha)], [1 - I_A^u(\alpha), 1 - I_A^l(\alpha)], [T_A^l(\alpha), T_A^u(\alpha)] \rangle$$

$$|\alpha \in X\} \hat{\cup} \{\langle \alpha, [F_B^l(\alpha), F_B^u(\alpha)], [1 - I_B^u(\alpha), 1 - I_B^l(\alpha)],$$

$$[T_B^l(\alpha), T_B^u(\alpha)] \rangle |\alpha \in X\}$$

$$= \overline{\dot{A}} \cup \overline{\dot{B}}$$

ii. It is straightforward.

4. Conclusions

Many types of operations are available in interval-valued neutrosophic sets, which not only handle uncertainty but also preserve the data in a very nice way. In the present paper we have introduced some operations. These operations are very flexible and useful generalizations of existing operations available in interval-valued neutrosophic set theory. It is hoped these newly introduced concepts will find their applications in many fields soon.

References

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338-353.
- [2] Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96.
- [3] Smarandache, F. (2006). Neutrosophic set-a generalization of the intuitionistic fuzzy set, In Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Granular Computing, Georgia State University, Atlanta, 38-42.
- [4] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y. Q. and Sunderraman, R. (2010). Single valued neutrosophic sets, *Multispace and Multistructure*, 4, 410-413.
- [5] Zhang, H. Y., Wang, J. Q. and Chen, X. H. (2014). Interval neutrosophic sets and their application in multicriteria decision making problems, *The Scientific World Journal*, 3, 649-653.
- [6] Lupianez, F. G. (2009). Interval Neutrosophic Sets and Topology, *Kybernetes*, 38, 621-624.
- [7] Zadeh, L. A. (1975). The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning-I, *Information Science*, 8(3), 199-249.
- [8] Smarandache, F. (2005). Neutrosophic set- a generalization of the intuitionistic fuzzy set, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 24(3), 287-297.
- [9] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y. Q. and Sunderraman, R. (2005). Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing, In: Neutrosophic book series, Hexis, Arizona.



Meeting of Energy Demand for Irrigation of Off-Grid Agricultural Land by Solar-Wind Energy System with Battery Storage

Ahmet Erhan Akan¹, Aytac Perihan Akan^{2*}

¹ Namık Kemal University, Çorlu Vocational School, Department of Machine Technology, Tekirdağ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1806-7943), aeakan@nku.edu.tr
^{2*} Hacettepe University, Engineering Faculty, Department of Environmental Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4626-4741), apakan@hacettepe.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011474)

ATIF/REFERENCE: Akan, A. E., Akan, A. P. (2021). Meeting of Energy Demand for Irrigation of Off-Grid Agricultural Land by Solar-Wind Energy System with Battery Storage. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 806-810.

Abstract

In this study, techno-economic and environmental feasibility analyzes of meeting the electrical energy required for irrigation need of agricultural land of 10,000 m², which is considered to be independent of the grid, in the rural area of Polatlı district of Ankara, with a solar-wind hybrid renewable energy system, were carried out using HOMER-Pro software. The electrical load required for irrigation was determined as 64 kWh/day. In addition, it is assumed that the electrical load of a house with an electrical load of 11.25 kWh/day close to the agricultural land will be met by the hybrid energy system to be installed. As a result of the examinations, it has been determined that the use of the hybrid energy system with solar-wind power to be created with a solar panel of 22.1 kW, a maximum power point tracking (MPPT) of 8 kW, a wind turbine of 10 kW, 138 pieces of 1 kW lead-acid batteries and a converter of 13.3 kW exhibited the most appropriate results. In this case, 41.8 % of the electrical energy to be obtained will be met from solar energy and 58.2% from wind energy, and electrical energy of 55,765 kWh will be produced annually. It has been determined that the initial investment cost of the system to be established is 405,536 ₺, the net current cost is 882,950 ₺, the cost of the electricity produced is 1.53 ₺/kW, and the investment will pay off in 9 years. In addition, it has been found that the amount of CO₂ to be released into the atmosphere will be 17,358 kg/year if the required electrical energy is met from the grid.

Keywords: Hybrid energy systems, Solar energy, Wind energy, Energy storage, Feasibility analysis.

Şebekeden Bağımsız Tarım Arazisinin Sulama Enerjisi İhtiyacının Batarya Depolamalı Güneş – Rüzgar Enerji Sistemi ile Karşılanması

Öz

Bu çalışmada, Ankara'nın Polatlı ilçesinin kırsal kesiminde şebekeden bağımsız olduğu kabul edilen 10,000 m²'lik bir tarım arazisinin sulama ihtiyacı için gerekli olan elektrik enerjisinin güneş-rüzgar hibrit yenilenebilir enerji sistemi ile karşılanmasının tekno-ekonomik ve çevresel fizibilite analizleri HOMER-Pro yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Sulama için gerekli olan elektrik yükü 64 kWh/gün olarak tespit edilmiştir. Ayrıca tarım arazisinin yanında elektrik yükü 11,25 kWh/gün olan bir evin de elektrik yükünün kurulacak olan hibrit enerji sistemi ile karşılanacağı varsayılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, 22,1 kW'lık güneş paneli, 8 kW'lık MPPT (Maksimum güç noktası takip), 10 kW'lık rüzgar türbini, 138 adet 1kW'lık kurşun-asit batarya ve 13,3 kW'lık konvertör ile oluşturulacak güneş-rüzgar hibrit enerji sisteminin kullanımının en uygun sonuçlar sergilediği belirlenmiştir. Bu durumda, elde edilecek elektrik enerjisinin %41,8'i güneş enerjisinden, %58,2'i ise rüzgar enerjisinden karşılanacak ve yılda 55.765 kWh elektrik enerjisi üretilecektir. Kurulacak sistemin ilk yatırım maliyetinin 405.536 ₺, net şimdiki maliyetinin 882.950 ₺, üretilen elektriğin maliyetinin 1,53 ₺/kW ve yatırımın 9 yılda amorti edeceği tespit edilmiştir. Ayrıca gerekli olan elektrik enerjisinin şebekeden karşılanması durumunda ise atmosfere salınacak CO₂ miktarının 17.358 kg/yıl olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit enerji sistemleri, Güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi, Enerji depolama, Fizibilite analizi.

* Corresponding Author: apakan@hacettepe.edu.tr

1. Introduction

Considering the gradual decrease of fossil fuels and their negative effects on the environment, the use of renewable and environmentally friendly energies has considerably gained attention in the last decades. Moreover, renewable energy resources will play an important role in agricultural development, particularly in constructing fertile agricultural lands with no grid. Today, agricultural lands close to the city centers are turning into settlements due to the rapidly increasing population. For this reason, needed agricultural lands are moved to rural areas without an electricity grid. In rural areas, on the other hand, since the energy required for farming activities is generally met from diesel generators, there are serious increases in greenhouse gas emissions released to the atmosphere together with production costs. It is possible to face many previous studies conducted with hybrid energy systems to meet the energy required for agricultural activities in rural areas away from the grid. Syuhada et al. carried out feasibility analyses of a wind-solar hybrid energy system that met the electricity need of a 558 W water pump used for 2520 liters/hour water requirement of a 15-hectare agricultural land selected independently from the grid in Indonesia. According to the results obtained from the analyses, it has been determined that the initial investment cost of the system designed will be \$14,938 and the system will produce 3,210 kW/year of electrical energy (Syuhada, et al., 2016). Campan et al. aimed to dimension and simulate the systems providing the energy required for irrigation of agricultural lands independent of the grid in China from solar and wind energies in their studies. They found that systems pumping water with solar energy provided more suitable dynamic simulation results than systems pumping water with wind energy. They also reported that incompatibility between irrigation water requirement and the amount of water pumped reduced crop yield (Campana, et al., 2015). Xiang et al. investigated the meeting of the irrigation water demand of cassava grown in a region of Guangxi province in China by a wind-solar hybrid energy system experimentally and theoretically. They reported that the hybrid pumping system supported by a 22kW solar panel and 44 kW wind turbines exceedingly met the irrigation demand of an area of 26.66 ha. They also reported that photovoltaic irrigation systems would be more beneficial due to the inconsistency of wind energy potential and high costs (Xiang, et al., 2017).

In this study, techno-economic and environmental feasibility analyses were conducted to meet the irrigation energy needs of an off-grid agricultural land in Polatlı district of Ankara province using a solar-wind hybrid energy system. This study aims to increase the region's agricultural activities, encourage renewable energy sources in rural areas with no electricity grid, and provide guiding information to researchers and investors interested in this subject.

2. Material and Method

2.1. Investigated Region

The economy of Polatlı district (39°36.5' N, 32°5.0' E) is mainly based on agriculture. The district has 383,675 decares of irrigated and 1,789,500 decares of non-irrigated agricultural land. Wheat, barley, sugar beet, melon and onion are among the most produced products. According to the 2020 census, 126,623 people live in the district, and the entire population lives in the city center (Wikipedia, 2021).

2.2. Investigated Farmland and Electrical Load

It has been assumed that the agricultural land in need of irrigation is 10,000 m² (100x100 m) and the irrigation process is done with a drip irrigation system with a flow rate adjustment. It is assumed that each drip irrigation apparatus is adjusted to deliver 1.1 L of water per hour and is mounted to the evacuation pipeline at 50 cm intervals. The irrigation of 22,000 liters per hour from a total of 20,000 water drippers where evacuation pipes of 16mm diameter (Ø16), which are assumed to be 100 pieces, are present has been made. A schematic representation of the irrigation system is presented in Figure 1.

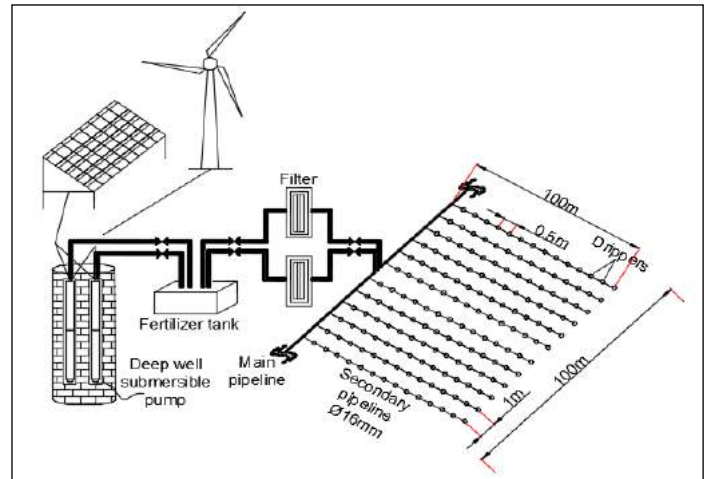


Figure 1. Schematic View of the Irrigation System

It is assumed that two deep well submersible pumps with a brand of Impo Sk 408/23 are used to meet the irrigation need of the agricultural land. The submersible pumps used are pumps with a capacity of 5.5 HP (4kW), single-phase (220V), 50 Hz, with a water flow rate of 12 m³/h from 41m depth (Impo water pump, 2021). Assuming that the pumps operate for eight hours a day, the electrical load required for irrigation was determined as 64 kWh/day. In addition, it is assumed that the electricity load of a house with an electrical load of 11.25 kWh/day, which can accommodate a farmer family of 4 and will be close to land area, will be met by the hybrid energy system to be established.

2.3. Wind and Solar Energy Potential of the Studied Region

Wind speed and solar radiation values of the studied region were obtained from the HOMER Pro software. The HOMER Pro software obtains this data from the NASA Surface meteorology and Solar Energy database. Monthly Average Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) and Monthly Average Wind Speed data of the studied region are presented in Tab.1.

Table 1. Wind-Solar Data of the Studied Region

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)	Monthly average wind speed (m/s)
January	0.478	2.060	5.030
February	0.504	2.870	5.430
March	0.532	4.080	4.710
April	0.503	4.850	4.240
May	0.548	6.040	3.830
June	0.594	6.890	3.960
July	0.634	7.160	4.460

August	0.616	6.250	4.640
September	0.609	5.070	4.330
October	0.552	3.460	4.730
November	0.503	2.320	4.660
December	0.438	1.700	4.910
Average	0.543	4.400	4.580

When Table 1 is examined, it is seen that the annual Clearness index of the region is 0.543, the annual average GHI value is 4.400 kWh/m²/day and the annual average wind speed is 4.580 m/s.

2.4. HOMER Pro Software and Examined System Elements

2.4.1. HOMER Pro Software

The HOMER Pro x64 3.11.2 (Microgrid software) software used in this study is software developed by HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) by the United States National Renewable Energy Laboratory (NREL) to design and optimize microgrids (HOMER Pro, 2021). HOMER Pro can model the physical behavior of a micropower system, its life cycle cost (total net present cost), which is the sum of the system's initial cost of installation and operating costs over the system's specified lifetime. It allows the comparison of different design options within the framework of technical and economic values (Sekuçoğlu, 2012; Yılmaz, 2008).

2.4.2. Solar Panel

The solar panel examined in the system is the CS6X-325P model polycrystalline solar panel produced by Canadian Solar Max Power. Panels; capacity is 0.325 kW, nominal operating temperature is 45 °C, and efficiency is 16.94% (Canadian Solar panel, 2021). It has been accepted that the initial installation and replacement cost of 1 kW of solar panels is 6600 ₺, and the annual maintenance or repair costs are 60 ₺ (Canadian Solar panel price, 2021).

2.4.3. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

The MPPT is a device ensuring that the voltage and current values of the energy coming from the solar panels are fixed and sent to the batteries, preventing the batteries from being overcharged and reverse current from the batteries to the panels. It has been accepted that the initial investment and replacement cost of 1 kW of MPPT device are 2000 ₺ (MPPT device price, 2021).

2.4.4. Wind Turbine

The wind turbine examined in the study is a wind turbine with a capacity of 10 kW and an EO10 model produced by the Eocycle Company (Wind turbine technical data, 2021). The rotor diameter of the turbine is 15.81 m, the hub height is 16 m and the life span is 20 years. In addition, environmental temperature effects were also taken into account in the calculations. It has been assumed that the turbine's initial installation and replacement costs are 120,000 ₺, and the maintenance and repair costs are 2,500 ₺ per year.

2.4.5. Storage

In the examined system, 12 V and 83.4 Ah lead-acid batteries with 1 kWh capacity were used. The efficiency of the batteries is 80%, the maximum charging current is 16.7 A, and the maximum discharge current is 24.3 A. It is assumed that one of the batteries

is 750 ₺ and the annual maintenance costs are 75 ₺. Also, the initial state of charge is 100% and the minimum state of charge is 40%.

2.4.6. Converter

A converter with inverter and rectifier features was selected for the system. For the initial installation and replacement cost of the converter, 1kW is assumed to be 1,500 ₺. The lifetime of the inverter is 15 years, the efficiency is 95%, the relative capacity of the rectifier is 100% and the efficiency is 95%.

2.5. Hybrid Energy Model

Schematic representation of hybrid system designed by HOMER Pro software is presented in Figure 2.

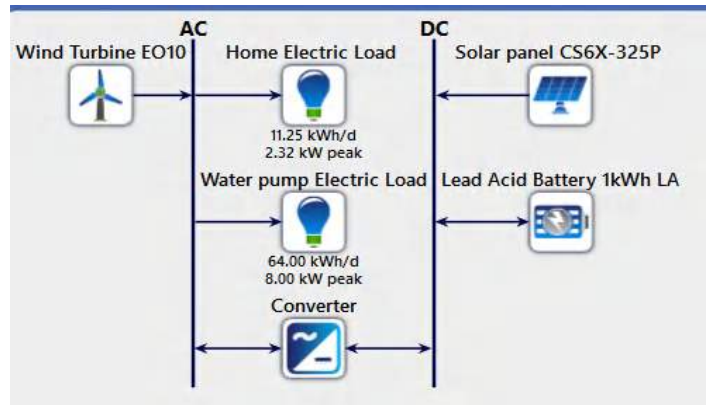


Figure 2. Designed Hybrid System Model

The lowest net present cost value (NPC) and the lowest unit energy cost (COE) were considered to select the most appropriate system. Also, in financial calculations, the nominal discount rate is 16.5% and the expected inflation rate is 14.90%. In this case, the real discount rate is determined as 1.39% by the HOMER Pro software. In addition, the project life is assumed to be 25 years.

3. Results and Discussion

According to the designed hybrid system model, 12,350 simulations were performed by the HOMER Pro software. Among these simulations, the two systems with the lowest energy unit cost and net present cost values were found to be more efficient than the other proposed systems. While the first system has solar panels, the second system does not have solar panels and MPPT devices, and produces energy only with a wind turbine. A comparison of these systems is presented in Table 2.

Table 2. Hybrid System Models

Components	1st model	2nd model
Solar panel (kW)	22.1	-
MPPT (kW)	8	-
Wind Turbine EO10	1	2
Lead Acid Battery (kWh)	138	464
Converter (kW)	13.3	13.2
Dispatch	CC	CC
COE (₺)	1.53	3.39
NPC (₺)	882,950	1.95x10 ⁶
Operating cost (₺/yr)	22,754	64,089

Initial capital (₺)	405,336	607,731
---------------------	---------	---------

When Table 2 is examined, in the 1st model, the initial investment cost, net present cost (NPC), unit energy cost (COE) and annual operating and maintenance costs of the system to be installed with several types of equipment, including a solar panel with a capacity of 22.1 kW, an MPPT with a capacity of 8 kW, a wind turbine with a capacity of 10 kW, a lead-acid battery with a capacity of 138 kWh, and a converter with a capacity of 13.3 kW will be calculated as 405.536 ₺, 882,950 ₺, 1.53 ₺ and 22,754 ₺, respectively. Model 1 is the most suitable in terms of COE and NPC among the other proposed models. In this respect, the first model was taken as a basis in the examinations.

3.1. Cost Analysis

A summary of the costs according to the components used in the model is given in Table 3.

Table 3. Cost Summary of Components

Components	Capital (₺)	Replace.(₺)	O&M (₺)	Salvage (₺)	Total (₺)
Solar panel	145,876.36	0.00	27,836.39	0.00	173,712.75
MPPT	16,000.00	13,002.64	0.00	-3,774.43	25,228.21
Wind Turbine	120,000.00	91,004.59	52,475.99	-63,693.50	199,787.09
Battery	103,500.00	168,623.95	217,250.61	-36,623.76	452,750.81
Converter	19,959.27	16,220.20	0.00	-4,708.43	31,471.04
System	405,335.63	288,851.38	297,563.00	-108,800.11	882,949.90

It can be seen from Table 3 that the highest cost belongs to solar panels, followed by wind turbines and batteries.

3.2. Financial Analysis

Among the simulations obtained by Homer Pro software, a base model with a lower initial investment cost than the examined model was taken as a reference, and financial comparisons were made between these models: the base model and examined/current model. Although the reference model has the lowest investment cost, its COE and NPC values affecting the selection of the models are higher than those of the selected one. The properties of the models are compared in Table 4.

Table 4. Components of the Models Compared

Components	Base model	Current model
Solar panel (kW)	16.2	22.1
MPPT (kW)	8	8
Wind Turbine EO10	1	1
Lead Acid Battery (kWh)	166	138
Converter (kW)	14.6	13.3
Dispatch	CC	CC
COE (₺)	1.62	1.53
NPC (₺)	931,750	882,950
Operating cost (₺/yr)	25,831	22,754
Initial capital (₺)	389,553	405,336

According to the financial data obtained for the model examined, it has been determined that the present worth is 48,800 ₺, the simple payback period is 9 years, and the discounted payback period is 9.06 years.

₺, the simple payback period is 9 years, and the discounted payback period is 9.06 years.

3.3. Energy analysis

The amount of the total electrical energy to be produced in one year by the solar-wind hybrid energy system was determined as 55,765 kWh/yr. Solar panels will generate 41.8 % of this energy, remaining energy (58.2 %) will supply from wind turbines. Moreover, 44.9 % of the energy generated is more than needed, and it can be used to meet the energy demand in greenhouses and residential buildings in the winter season. In addition, the energy that the system cannot meet is 0.05% of the total energy produced, which is negligible. The monthly distributions of electricity generated from solar and wind energies generated are presented in Figure 3.

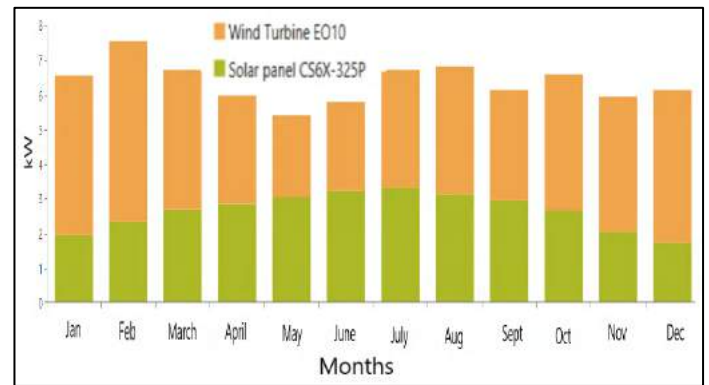


Figure 3. Monthly Average Electricity Production

3.4. Emission Analysis

Since the examined system is based on 100% renewable energy, the system's equivalent greenhouse gas emission value is zero. However, the case of meeting the same electrical load from the grid or diesel generator has also been investigated. In this regard, carbon dioxide (CO₂) of 17,358 kg/yr, sulfur dioxide (SO₂) of 75.3 kg/yr, nitrogen oxides (N₂O) of 36.8 kg/yr will be released into the atmosphere if the electrical load is met from the grid. If the diesel generator meets the electricity need, CO₂ of 33,790 kg/yr, carbon monoxide (CO) of 256 kg/yr, unburned hydrocarbons of 9.31 kg/yr, and particulate matters of 15.5 kg/yr, SO₂ of 82.9 kg/yr and N₂O of 290 kg/yr will be emitted into the atmosphere.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, the irrigation energy needs of rural farmland and a farmhouse with no power line are simulated with the solar-wind hybrid energy system by HOMER Pro software. According to the simulation results obtained, it has been determined that the most suitable system model for the region examined consists of polycrystalline solar panels with a capacity of 22.1 kW, an MPPT device with a capacity of 8 kW, a wind turbine with a capacity of 10 kW, a lead-acid battery with a capacity of 138 kWh and a converter with a capacity of 13.3 kW.

It has been determined that the initial investment cost, NPC, COE, and the annual operating and maintenance costs of this system to be established will be 405,536 ₺, 882,950 ₺, 1.53 ₺ and 22,754 ₺, respectively. Moreover, the release of CO₂ influencing considerably to climate system into the atmosphere will be 17,358 kg in one year in case of the required electrical energy is met from the grid instead of the system to be installed.

It has also been determined that if the examined system is installed using only a wind turbine, a wind turbine with a capacity of 20 kW will be needed, and the initial installation cost of the system will be 607,731 ₺. In addition, when the electrical energy needed for the examined region is required to be met only from solar energy, it has been determined that the initial investment cost of the system to be established will be 2,790,000 ₺. For this reason, it has been determined that wind energy has a critical significance for the region examined.

References

- Campana, P. E., Li, H. and Yan, J. Techno-economic feasibility of the irrigation system for the grassland and farmland conservation in China: Photovoltaic vs. wind power water pumping, *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 311-320, October 2015.
- Canadian Solar panel website. Available online: http://www.getsystems.com/productsfiles/solarcells/Canada_n_Solar-Datasheet-MaxPower-CS6X-P-v5.51en.pdf. Online date: 09.09.2021
- Canadian Solar panel price website. Available online: <https://www.thesolarsupermarket.com/product/canadian-solar-72-cell-maxpower-325w-poly/>. Available date: 09.09.2021.
- İmpo Sk 408/23 water pump online database. Available online: http://www.imo.com.tr/Files/TranFiles1/CATML_2_01211715799.pdf. Available date: 09.09.2021.
- Sekuçoğlu, S. A. Design and economic analysis of photovoltaic (PV), wind and hybrid systems, M. Eng. thesis, Institute of Science and Technology of Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, March. 2012. (in Turkish).
- Syuhada, A., Mubarak, A. Z. and Maulana, M. I. (2016). Study of hybrid power system potential to power agricultural water pump in mountain area. *AIP Conference Proceedings*, vol. 1717 (1), 050013, <https://doi.org/10.1063/1.4943488>.
- MPPT device price website. Available online: https://www.atakale.com.tr/index.php?route=product/product&product_id=122. Online date: 09.09.2021
- The HOMER Pro website. Available online: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>. Online date: 10.09.2021
- Wikipedia. (2021). Polatlı district website. Available online: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polatlı%C4%B1>. Available date: 10.09.2021.
- Wind turbine technical data website. Available online: <https://eocycle.com/eocycle-wind-turbine-certification-solidifies-status-efficient-small-wind-turbines-world/>. Available date: 09.09.2021.
- Xiang, C., Liu, J., Yu, Y., Shao, W., Mei, C., Xia, L. Feasibility assessment of renewable energies for cassava irrigation in China, *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 17-22, December 2017.
- Yılmaz, U. Electric Production with Renewable Energy Sources in Gökçeada. M. Eng. thesis, Institute of Science and Technology of İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey, August, 2008. (in Turkish).



Jiroskop ve İvme Ölçer Verileriyle Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İnsan Aktivitesi Tanımlama

Cem Özkaya^{1*}, Mustafa Yasin Esas²

^{1*} TOBB Eko. ve Tek. Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5029-6941), cozkaya@etu.edu.tr

² Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2677-5897), mustafaesas@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011461)

ATIF/REFERENCE: Özkaya, C. & Esas, M. Y. (2021). Jiroskop ve İvme Ölçer Verileriyle Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İnsan Aktivitesi Tanımlama. *European Journal of Science and Technology*, (28), 811-818.

Öz

Günümüzde akıllı cihazlar aracılığıyla (telefon, saat vb.) fiziksel hareket ve yakılan kalori miktarının takip edilmesi cihaz kullanıcıları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu akıllı cihazlar vasıtasıyla elde edilen verilere dayalı olarak gerçekleştirilen aktivitenin yüksek doğrulukla tanımlanması bazı hastalıkların veya fizyolojik eksikliklerin ortaya çıkarılması ve tedavisinde fikir verebilmektedir. Bu kapsamda çalışmamızda akıllı telefon vasıtasıyla elde edilmiş olan jiroskop ve ivmeölçer verilerine dayalı olarak yüksek doğrulukla aktivite tanımlanması çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada aktivite tanımlanması olarak merdiven inme, merdiven çıkma, koşma ve ayakta durma verileri sınıflandırılmıştır. Bu verileri ait on iki adet öznelik tespit edilmiş ve bu öznelikler sınıflandırma algoritmalarında kullanılmıştır. Çalışma, MatLab "Classification Learner Toolbox" uygulamasında bulunan sınıflandırma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile uyumlu ve katkı sağlayacak niteliktedir. Çalışmada hareket tanımlanması kapsamında %90 seviyelerinde doğruluk oranları elde edilmiştir. Çalışmamız ön araştırma niteliğinde olup, sonraki çalışmalarımız için faydalı bulgular içermektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsan aktivitesi tanımlama, Jiroskop, İvmeölçer, Aktivite sınıflandırma, Sınıflandırma yöntemleri, Makine öğrenmesi

Identifying Human Activity Using Machine Learning Algorithms with Gyroscope and Accelerometer Data

Abstract

Today, tracking physical movement and the amount of calories burned through smart devices (phone, watch, etc.) is widely used by device users. Identifying the activity performed with high accuracy based on the data obtained by these smart devices can give an idea in the detection and treatment of some diseases or physiological deficiencies. In this context, in our study, a high-accuracy activity identification study was carried out based on the gyroscope and accelerometer data obtained via a smart phone. In the study, the data of stair down, stair up, running and standing were classified as activity definitions. Twelve features of this data were identified and these features were used in classification algorithms. The study was carried out using the classification methods available in the MatLab "Classification Learner Toolbox" application. The obtained findings are compatible with the literature and contribute to it. In the study, accuracy rates of 90% were obtained within the scope of motion identification. Our study is a preliminary research and contains useful findings for our further studies.

Keywords: Human activity identification, Gyroscope, Accelerometer, Activity classification, Classification methods, Machine learning

* Corresponding Author: cozkaya@etu.edu.tr

1. Giriş

Çalışmamızda akıllı telefon içerisinde bulunan sensörler kullanılarak elde edilmiş üç eksenli ivmeölçer ve jiroskop verileri kullanılmıştır [1]. Veriler M. Malekzadeh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar ile elde edilerek "kaggle.com/malekzadeh/motionsense-dataset" veri tabanında kullanıma sunulmuştur. Çalışmada amacımız veri setindeki jiroskop ve ivmeölçer verileri kullanılarak hareket tipinin yüksek doğrulukla tanımlanmasının sağlanmasıdır. Bu amaçla sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Sınıflandırma çalışmasında makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmış ve yüksek doğruluk oranları elde edilmiştir. Sonuçlar bölümünde kullanılan algoritmaların performansları değerlendirilip karşılaştırılmıştır. Literatürde insan aktivitesi tanımlanması üzerine birçok çalışma bulunmaktadır.

Wang ve arkadaşları [2] sağlık hizmetlerinde insan aktivitesi tanımlama amacıyla giyilebilir sensör kullanımı üzerine bir araştırma çalışmasında bulunmuşlardır. Sensör tabanlı insan etkinliği tanıma (HAR), yaşlı insanların günlük yaşamını desteklemek, fitness sistemleri, fabrika çalışanlarının izlenmesi vb. için en umut verici yardımcı teknolojilerden biridir ve insan merkezli uygulamalarda muazzam bir potansiyel sağlamıştır. Araştırmada yapılan çalışmada, yeni başlayanlar ve araştırmacılar için HAR'a daha kapsamlı bir bakış açısı sağlamak amaçlanmıştır. Hem geleneksel yaklaşımlar hem de derin öğrenme yöntemleri dahil olmak üzere sensör çeşitleri, sensör yerleşimi, günlük aktivitelerin tanımlanması, veri ön işleme yöntemleri (filtreleme, pencereleme vb.), öznelik belirleme, öznelik azaltma (PCA, Kernel PCA, Auto encoder, Sparse filtering, LDA vb.) ve öznelik seçme (filter methods, wrapper methods, embedded methods), sınıflandırma algoritmaları, performans değerlendirme yöntemleri, insan aktivitesi tanımlanmasının sağlık üzerine uygulamaları üzerinde detaylı olarak inceleme yapılmıştır. Bu konuda çalışma yapacak kişilere kılavuz oluşturulmuştur.

Jia ve Chen [3] sensör verileri kullanarak insan aktivitesi tanımlama çalışmasında bulunmuşlar ancak geleneksel yöntemlerin haricinde sadece sensör verisi değil bilgi ile entegre sensör verisi içeren bir tanımlama çalışmasında bulunmuşlardır. Daha spesifik olarak bu yaklaşım hiyerarşik olarak insan aktivitesiyle birlikte düşük seviyeli aksiyonları ve mimiklerin bileşimini ele almaktadır. Daha sonra bu hiyerarşik yapı, makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak otomatik akıl yürütmeli mantıksal formlere ve kural tabanlı yapılara dönüştürülmüştür. Bu çalışma video tabanlı insan etkinliği tanıma hakkında bazı açık kaynaklı veriler kullanılarak doğrulanmıştır. İnsan aktivitesi tanımlamada makine öğrenmesi ve sembolik akıl yürütmenin entegrasyonunun umut verici bir yöntem olduğundan bahsedilmiştir.

Nweke ve arkadaşları [4] mobil ve giyilebilir sensörler kullanılarak insan aktivitesi tanıma için derin öğrenme algoritmaları konusunda yapılan çalışmaları inceleyen bir araştırmada bulunmuşlardır. Çalışmada insan etkinliği tanıma sistemleri; ortam destekli yaşam, spor yaralanmalarının tespiti, yaşlı bakımı, rehabilitasyon ve akıllı ev ortamlarında eğlence ve gözetim alanındaki insan davranışlarının sürekli olarak izlenmesini sağlayan bir çerçevenin parçası olarak tanımlanmıştır. İlgili özneliklerin çıkarılması, mobil ve giyilebilir sensör tabanlı insan etkinliği tanıma hattının en zorlu kısmı olduğundan bahsedilmiştir. Öznelik çıkarmanın, algoritma performansını etkilediğinden ve hesaplama süresini ve karmaşıklığı

azalttığından bahsedilmiştir. Derin öğrenmenin ortaya çıkması ve artan hesaplama güçleriyle sınıflandırmada çeşitli alanlarda otomatik öznelik öğrenme için ve son zamanlarda mobil cihazlarda basit ve karmaşık insan etkinliği tanımının öznelik çıkarma ve sınıflandırması için derin öğrenme yöntemlerinin benimsendiğinden bahsedilmiştir. Öznelik öğrenimi için mobil veya giyilebilir sensörlerin ve derin öğrenme yöntemlerinin birleştirilmesinin çeşitlilik sağladığından, daha yüksek genelleme sunduğundan ve insan etkinliğinin tanınmasındaki zorlu sorunları ele aldığından bahsedilmiştir. Bu incelemenin odak noktası, mobil ve giyilebilir sensör tabanlı insan etkinliği tanıma için derin öğrenme yöntemlerinin derinlemesine özetlerini sağlamaktır. İnceleme yöntemleri, benzersizliği, avantajları ve sınırlamaları göstermektedir. Bu araştırma; çalışmaları yalnızca üretken, ayırt edici ve hibrit yöntemler olarak sınıflandırmakla kalmamakta, aynı zamanda birbirlerine göre avantajlarını da vurgulamaktadır. Çalışmada ayrıca daha fazla araştırma ve iyileştirme gerektiren araştırma problemleri de özetlenmiştir.

Subasi ve arkadaşları [5] akıllı telefon sensörlerinden elde edilen verilerin Bagging ve Boosting tekniklerini kullanılarak sınıflandırılma yapılmak üzere insan aktivite tanımlaması çalışmasında bulunmuşlardır. Bu çalışmada da sağlık uygulamalarında mobil teknolojilerin kullanımı, özellikle yaşlılar ve tıbbi kontrol altındakiler için günlük klinik aktivitelerin akıllı ve otomatik izlenmesi, uzaktan yaşam asistanları ve önleyici bakım için hekimleri ve hastaları bir araya getirdiği vurgulanmış ve insan aktivitesi tanımlamasının ileri ki zamanlarda yaşamın ayrılmaz bir parçası haline geleceğinden bahsedilmiştir. Makalenin amacı, Bagging ve Adaboost sınıflandırıcılarını kullanarak akıllı telefon sensörlerinin verilerine dayalı bir insan aktivitesi tanımlama sistemi geliştirmektir. İnsan aktivitesi verileri için deneysel sonuçlar, farklı veri madenciliği teknikleri uygulandıktan sonra değerlendirilmiştir. Her konu için accuracy, F1-Score ve ROC alanı hesaplanmıştır. Adaboost sınıflandırıcıları algoritmasının, akıllı telefon tabanlı insan aktivitesi tanımlamanın performansını önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiş ve SVM ile birlikte diğer sınıflandırıcılara kıyasla %97,44 doğruluğa ulaştığı belirtilmiştir. Adaboost SVM'nin önerilen algoritması, sürekli bakıma ihtiyaç duyan yaşlı ve engelli hastalar için doğru bir insan aktivitesi tanımlamayı sağlamakla birlikte, tüm sağlık profesyonellerinin kararlarını destekleyen bir araç olduğundan bahsedilmiştir.

Literatürde insan aktivitesi tanımlanması üzerine çeşitli çalışmalar bulunmakta olup %90 üzerinde doğruluk oranları ile aktivite tanımlaması gerçekleştirilen sonuçlar gözlemlenebilmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan veriler daha önce kontrollü bir şekilde kaydedilmiş ve veriler üzerinde çeşitli akademik çalışmalar gerçekleştirilmiştir [1]. Jiroskop ve ivme ölçer verileri üç eksenli olup (x,y,z) toplam altı kanal sensör verisi bulunmaktadır. Bu çalışma Matlab R2021a uygulaması kullanılarak yapılmıştır.

Toplam 24 kişiye ait veri kullanılmış olup bu veriler 4 farklı fiziksel hareket gerçekleştirilirken 30 'ar saniye kayıt alınarak elde edilmiştir. Kullanılan fiziksel hareketler merdiven inme, merdiven çıkma, ayakta durma ve koşma verileridir. 24 kişinin her biri için hem jiroskop hem de ivmeölçer üzerinden 30 saniye merdiven inme, 30 saniye merdiven çıkma, 30 saniye ayakta durma ve 30 saniye koşma verisi 50 Hz örnekleme frekansı ile elde edilmiştir.

Veriler elde edilip derlendikten sonra bu verilere ait on iki adet öznitelik oluşturulmuştur. Bu öznitelikler temel istatistik parametreleri olan; ortalama (mean) (1. öznitelik), karekök ortalama (RMS) (2. öznitelik), standart sapma (standart deviation) (3. öznitelik), basıklık (kurtosis) (4. öznitelik), çarpıklık (skewness) (5. öznitelik), maksimum ve minimum arasındaki fark (6. öznitelik), değişim (variance) (7. öznitelik), sinyal gürültü oranı (SNR) (8. öznitelik), sinyal gürültü ve bozulma oranı (9. öznitelik), karelerin kök toplamı seviyesi (root sum of squares level) (10. öznitelik), ortalama frekans (11. öznitelik) ve tepeden karekök ortalaması (peak to RMS) (12. öznitelik) dir. Bu özniteliklere ait formülasyonlar ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

2.1. Öznitelikler

2.1.1. Ortalama (mean)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)$$

Aritmetik ortalama, elimizdeki verilerin değerlerinin toplamlarının o verilerin sayısına bölünerek elde edilen değerdir.

2.1.2. Karekök Ortalama (RMS)

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

Bir veri topluluğunun RMS değeri, bu topluluktaki her bir değerlerin karesinin, toplam veri sayısına olan oranının kareköküdür.

2.1.3. Standart Sapma

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Standart sapma, olasılık ve istatistiki olarak, veri setinde bulunan değerlerin dağılımını gösteren bir ölçüttür.

2.1.4. Basıklık (Kurtosis)

$$K = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^4}{\left(\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \right)^2}$$

Basıklık, bir dağılımın sivrilik derecesidir ve genellikle normal dağılıma göre ele alınır. Normal dağılım, simetrik dağılımın özel bir halidir. Bir dağılımın normal olabilmesi için hem simetrik olması hem de normal bir yüksekliğe sahip olması gerekir.

2.1.5. Çarpıklık (Skewness)

$$S = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^3}{\left(\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \right)^3}$$

Çarpıklık, örnek ortalama etrafındaki verilerin asimetrisinin bir ölçüsüdür. Çarpıklık negatifse, veriler sağdan ziyade ortalamanın soluna yayılır. Çarpıklık pozitifse, veriler daha çok sağa doğru yayılır.

2.1.6. Max-Min Arasındaki Fark

$$x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$$

$$, x_{(max-min)} = x_{max} - x_{min}$$

Tepe değeri, herhangi bir yöndeki maksimum genlik bilgisinin mutlak değeridir. Diğer bir değişle pozitif yöndeki maksimum değerler ile negatif yöndeki maksimum değer arasındaki fark, tepe değeri olarak adlandırılır.

2.1.7. Değişim (Variance)

$$\sigma^2 = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)$$

Olasılık ve istatistiki olarak varyans, mümkün bütün değerlerin beklenen değer veya ortalamadan uzaklıklarının karelerinin ortalaması şeklinde bulunan bir ölçüdür.

2.1.8. Sinyal Gürültü Oranı (SNR)

$$SNR = \frac{\bar{X}^2}{\sigma^2}$$

SNR, bir verinin ortalamasının karesinin standart sapmasının karesine (değişim) oranıdır.

2.1.9. Sinyal Gürültü ve Bozulma Oranı (SINAD)

$$THD = \sqrt{\frac{H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + H_5^2}{F}}$$

$$SINAD = -10 \log \left[10^{-\frac{SNR}{10}} + 10^{-\frac{THD}{10}} \right]$$

Sinyal genliğinin diğer spektral bileşenlerin toplamına oranıdır. Spektral bileşenler beş adet harmonik frekansları içerir. SINAD toplam harmonik bozulma (THD) ve gürültüye eş değerdir.

2.1.10. Karelerin Kök Toplamı Seviyesi (Root Sum of Squares Level)

$$x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$$

$$RSS = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 \dots \dots \dots + X_N^2}$$

RSS, istatistiksel bir tolerans analiz yöntemidir. Çoğu durumda, gerçek bireysel parça boyutları, tolerans sınırlarına yakın gerçek boyutlara sahip çok az parça ile tolerans aralığının merkezine yakın bir yerde meydana gelir.

2.1.11. Ortalama Frekans

$$f_{ort} = \frac{\sum_{i=0}^N I_i f_i}{\sum_{i=0}^N I_i}$$

N = spektrumdaki frekans kutusu sayısı

f_i = N'nin i kutusundaki spektrum frekansı

I_i = N'nin i kutusunda spektrumun yoğunluğu

Bir spektrumun ortalama frekansı, spektrogram yoğunluğunun (dB cinsinden) ve frekansın çarpımının toplamının, spektrogram yoğunluğunun toplamına bölünmesiyle hesaplanır.

2.1.12. Tepeden Karekök Ortalaması (Peak to RMS)

$$X_{prms} = \frac{x_{(max-min)}}{2\sqrt{2}}$$

Tepe değeri herhangi bir yöndeki maksimum genlik varyasyonunun mutlak değeridir. Pozitif yöndeki maksimum değerler ile negatif yöndeki maksimum değer arasındaki fark, tepe değeri olarak adlandırılır. RMS genlik, alternatif bir sinyalin ortalama genliğini temsil etmek için türetilmiş bir genliktir.

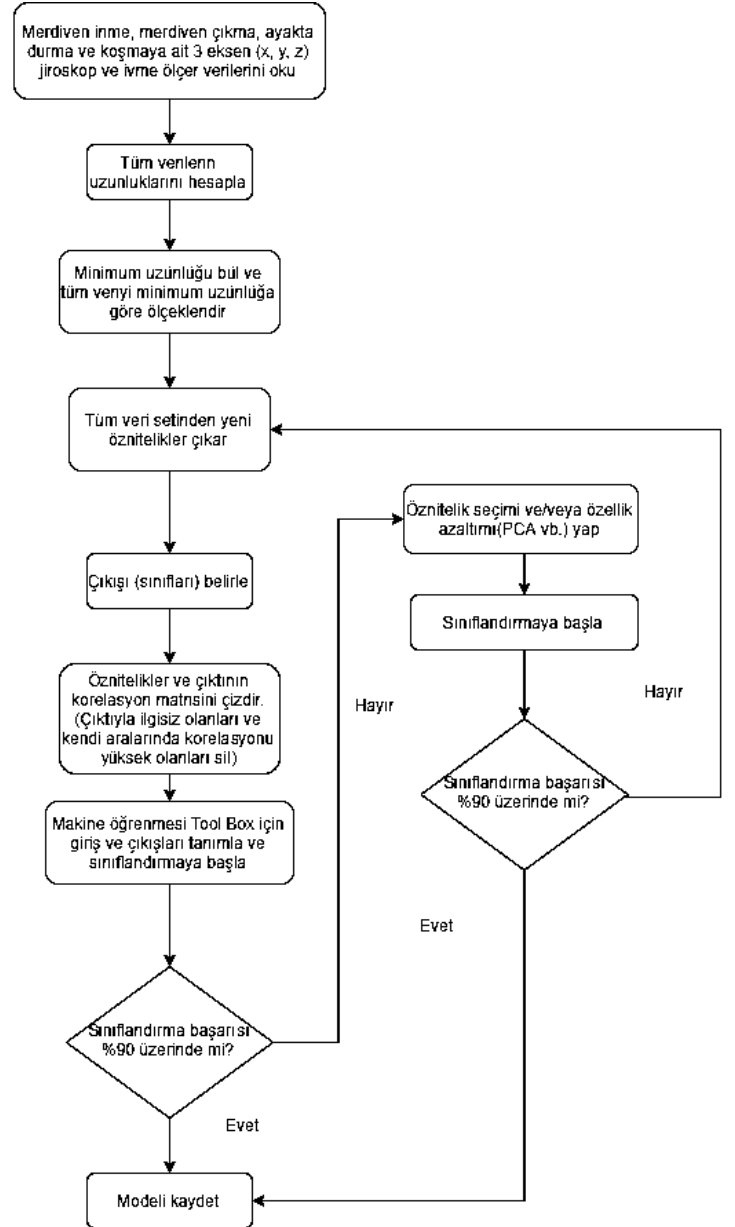
Burada elde edilen öznelik değerlerinin kendi aralarında ve çıktıyla olmak üzere korelasyon tablosu oluşturulmuştur. Korelasyon tablosunu oluşturmada iki temel husus bulunmaktadır. Burada öncelikle her bir öznelik ile çıktı arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. Eğer çıktı ve öznelik arasındaki korelasyon sıfır veya sıfıra yakınsa tespit edilen öznelik modelimizin sınıflandırma başarısını düşüreceğinden ve hesaplama süresini uzatacağından modelimizden çıkarılmıştır. Diğer bir husus ise özneliklerin kendi arasındaki korelasyonları incelemektir. Eğer iki öznelik arasında yüksek bir korelasyon var ise burada çıktıyla korelasyonu daha düşük olan öznelik modelimizden çıkarılmıştır.

Elde edilen veriler, bu verilerden yola çıkarak oluşturulan öznelikler ve bu özneliklerin uygun olanları seçildikten sonra Matlab R2021a "Classification Learner" uygulaması kullanılarak bu uygulamada bulunan yirmi dokuz adet sınıflandırma algoritması denenmiştir. Bu uygulamada karar ağaçları, discriminant analizleri, logistic regression, naive bayes, destek vektör makineleri, k en yakın komşu, ensemble ağlar, sinir ağları ve bu yöntemlerin alt dalları bulunmaktadır. Veri setinin %80'ni eğitim için %20'si test için kullanılmıştır. Bu uygulamada bulunan tüm sınıflandırma algoritmaları beş defa çalıştırılmıştır. Algoritmalarından elde edilen başarı ortalamaları alınmıştır.

Yapılan araştırmalarda makine öğrenmesi teknikleri ile gerçekleştirilen insan aktivite tanımlanması çalışmalarında karar ağaçları kullanıldığında %51 ile %80 arasında doğruluk oranları, k-NN kullanıldığında %90 düzeylerinde doğruluk oranları, SVM kullanıldığında ise %66 ile %100 arasında doğruluk oranları tespit edildiği görülmektedir [6].

Makine öğrenmesi modellerine ait olan en yüksek doğrulukta çıktılar, sonuçlar bölümünde sunulmuştur. Elde edilen çıktılarının doğruluk yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca sınıflandırma sonucunda hangi hareketin tanımlanmasının daha yüksek oranda doğrulukla tespit edildiğinin incelenmesi amacıyla "Karışıklık Matrisi" (Confusion Matrix) tespit edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlara ait ROC eğrisi de sunulmuştur.

Yapılan çalışmaya ait ve bu bölümde anlatılanları bir anlamda özetleyen akış şeması "Şekil-1"de verilmiştir.



Şekil 1. Modele ait akış şeması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

İkinci bölümde açıklanan özneliklerin belirlenmesi ve bu özneliklerin matematiksel olarak çözülmesi işlemleri Matlab kod ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra 13 sütun (12 adet öznelik ve çıktı) ve 576 satır (24 kişi, 3 eksen (x,y,z), merdiven inme, merdiven çıkma, ayakta durma ve koşma olmak üzere 4 adet hareket sınıfı, jiroskop ve ivme ölçer 2 sensör) veri bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen 12 öznelik ve çıktıya ait korelasyon tablosu "Şekil-2"de gösterilmiştir. Buradaki şekilde de görüleceği üzere 12. öznelik olan tepeden karekök ortalaması (peak to RMS) ile çıktı arasında bir korelasyon olmadığından bu öznelik modelimizden çıkarılmıştır. 2. öznelik ile 10. öznelik arasındaki korelasyon 1.00 değerinde olduğundan ayrıca 2. öznelik ile 3. öznelik arasındaki korelasyon 0.95 değerinde olduğundan 2. ve 10. öznelikler modelimizden çıkarılmıştır. Burada modelimizden çıkarılacak öznelik tercih edilirken çıktıyla olan korelasyonu düşük özneliklerden başlayarak öznelik çıkarımı yapılmıştır. 3.

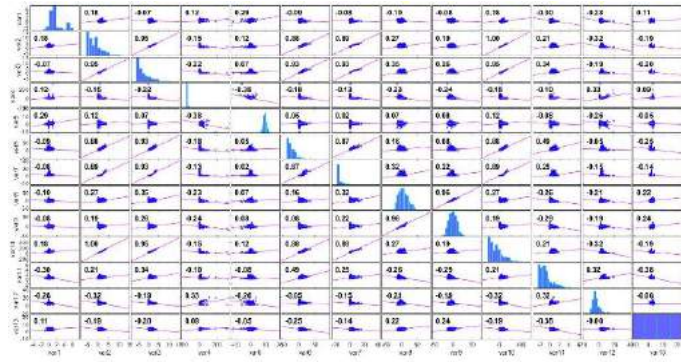
öznitelik ile 6. öznitelik arasındaki korelasyon 0.93 değerinde olduğundan ve bunların çıktıyla olan korelasyonu düşük olan öznitelik 3. öznitelik olduğundan bu öznitelik de modelimizden çıkarılmıştır. Aynı şekilde 6. öznitelik ile 7. öznitelik arasındaki korelasyon 0.87 değerinde olduğundan ve bunların çıktıyla olan korelasyonu düşük olan öznitelik 7. öznitelik olduğundan bu öznitelik de modelimizden çıkarılmıştır. Aynı şekilde 8. öznitelik ile 9. öznitelik arasındaki korelasyon 0.96 değerinde olduğundan ve bunların çıktıyla olan korelasyonu düşük olan öznitelik 8. öznitelik olduğundan bu öznitelik de modelimizden çıkarılmıştır.

Makine Öğrenmesi Modeli	Sınıflandırma Sonucu (Doğruluk)
Destek Vektör Makineleri (DVM) (Medium Gaussian)	87.7 %
k-NN (Weighted k-NN)	87.3 %
Yapay Sinir Ağları (YSA) (Medium NN)	87.2 %

Sınıflandırma başarısını arttırmak için principle component analysis (PCA) gibi boyutsal öznitelik çıkartım işlemleri de (dimensional feature reduction) yapılmaktadır. Çalışmamızda Matlab Classification Learner uygulamasında bulunan PCA kullanılarak sınıflandırma başarısını arttırmak hedeflenmiş ancak “Tablo-1”de elde edilen başarıdan üstün bir başarı elde edilmediğinden burada sunulmamıştır.

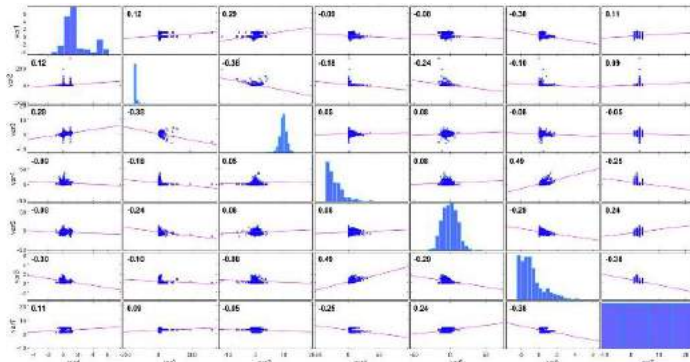
Aşağıda “Tablo-1”de elde edilen sınıflandırma başarılarına ait Karışıklık Matrisleri görülmektedir. 1-Merdiven İnme, 2-Koşma, 3-Ayakta Durma, 4-Merdiven Çıkma veri sınıflarını temsil etmektedir.

“Şekil-4”te görüldüğü üzere 2 ve 3 numaralı hareketler, 2 ve 4 numaralı hareketler, 3 ve 1 numaralı hareketler, 3 ve 2 numaralı hareketler yüksek doğruluk oranları ile DVM algoritması kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. “12” adet öznitelik ve çıktılara ait korelasyon grafiği

2., 3., 7., 8., 10. ve 12. öznitelikler modelimizden çıkarıldıktan sonra elde edilen korelasyon tablosu “Şekil-3”te gösterilmiştir. Ayrıca “Şekil-2”deki grafiğe bakıldığında özniteliklerin dağılımları incelendiğinde herhangi bir aykırı (outlier) veri bulunmadığı değerlendirilmiştir. Bu sebeple veri setinden veri çıkartımı yapılmamıştır. Yine “Şekil-2”de görüleceği üzere veri setinden elde edilen dört sınıf çıktı (merdiven inme/çıkma, koşma ve ayakta durma) eşit olarak bulunduğu veri dengelemesi yapılmamıştır.



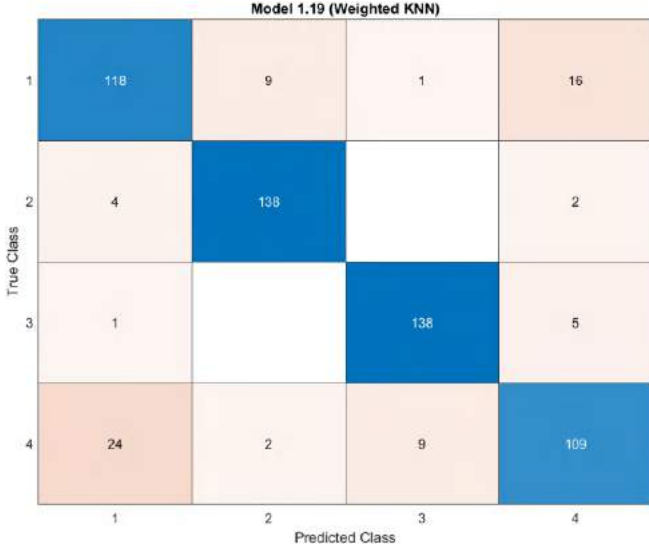
Şekil 3. Diğer öznitelikler çıkarıldıktan sonra elde edilen korelasyon grafiği (Modelimizde kullanılmak üzere seçilen öznitelikler sırasıyla 1., 4., 5., 6., 9. ve 11.)

Özniteliklerin seçimi yapıldıktan sonra Matlab R2021a “Classification Learner” uygulaması kullanılarak elde edilen en yüksek üç makine öğrenmesi algoritması “Tablo-1”de sunulmuştur. Burada görülen sonuçlar veri setinin %80’inin eğitim seti, %20’sinin test seti olması durumunda üç makine öğrenmesi algoritması ile elde edilen sınıflandırma başarıları görülmektedir.

		Model 1.12 (Medium Gaussian SVM)			
		1	2	3	4
True Class	1	113	6	1	24
	2	5	139		
	3			141	3
	4	26	3	3	112
		Predicted Class			

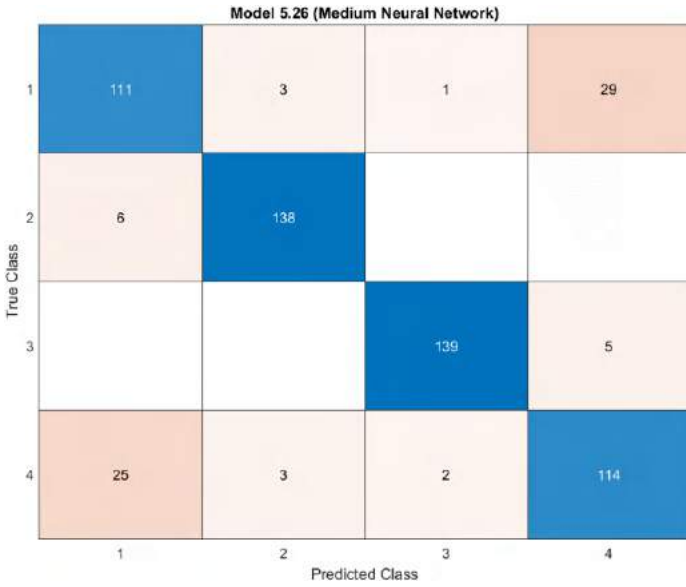
Şekil 4: DVM Karışıklık Matrisi (Tüm veri için yapılan çalışma)

“Şekil-5”te görüldüğü üzere 2 ve 3 numaralı hareketler k-NN algoritmalarında yüksek doğrulukla tespit edilmiştir.



Şekil 5: k-NN Karışıklık Matrisi (Tüm veri için yapılan çalışma)

“Şekil-6”da görüldüğü üzere 2 ve 3 numaralı hareketler, 2 ve 4 numaralı hareketler, 3 ve 1 numaralı hareketler, 3 ve 2 numaralı hareketler YSA algoritmalarında yüksek doğrulukla tespit edilmiştir.



Şekil 6: YSA Karışıklık Matrisi (Tüm veri için yapılan çalışma)

Veri setinden elde edilen öznelik bilgisinden “x” eksen çıkarılarak aynı çalışmalar tekrar edilmiştir. Aşağıda görülen “Tablo-2”de “x” eksen çıkarılarak yapılan sınıflandırma çalışmasında edilen sınıflandırma başarı yüzdeleri görülmektedir. Burada görülmektedir ki bu eksen çıkarıldığında daha yüksek bir başarı elde edilememiştir. Burada “x” eksen bilgisinin sınıflandırma başarı oranını arttırmada katkısı olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Sınıflandırma Sonucu (x eksen çıkarılmış olarak)

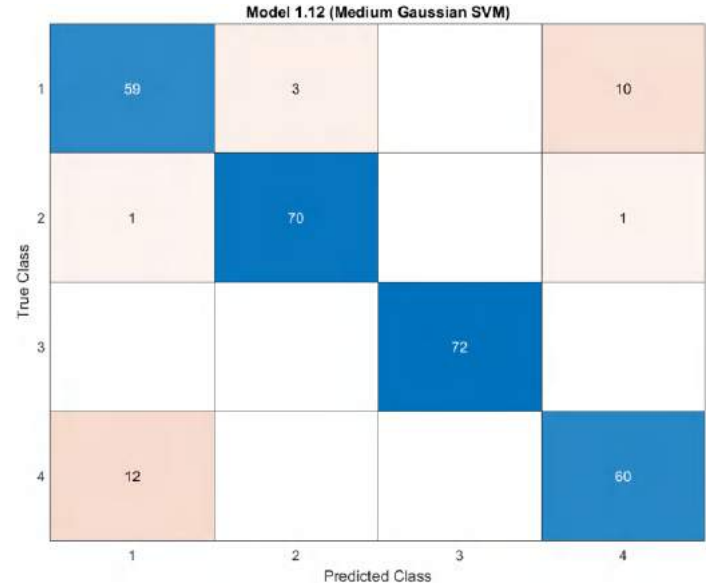
Makine Öğrenmesi Modeli	Sınıflandırma Sonucu (Doğruluk)
Destek Vektör Makineleri (DVM) (Qubic)	85.9 %
Yapay Sinir Ağları (YSA) (Wide NN)	85.7 %
k-NN (Fine)	84.9 %

Veri setinden elde edilen öznelik bilgisinden sadece jiroskoptan elde edilen veriler kullanılarak aynı çalışmalar tekrar edilmiştir. Aşağıda görülen “Tablo-3”te yapılan sınıflandırma çalışmasında edilen sınıflandırma başarı yüzdeleri görülmektedir. Burada görülmektedir ki elimizdeki veri seti ve çıkartılan öznelikler değerlendirildiğinde sadece jiroskop verilerini kullanarak sınıflandırma başarı artmaktadır.

Tablo 3. Sınıflandırma Sonucu (sadece jiroskop verileri kullanılarak)

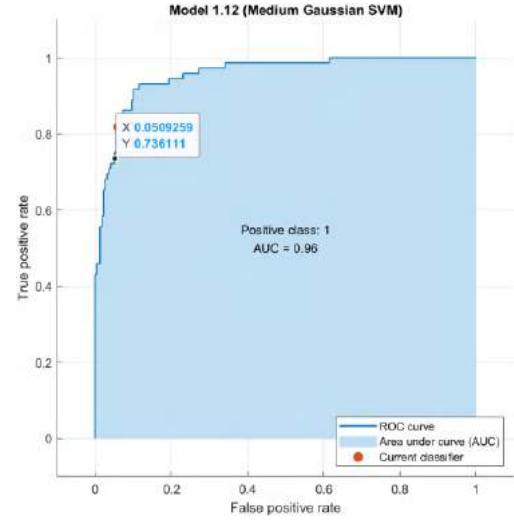
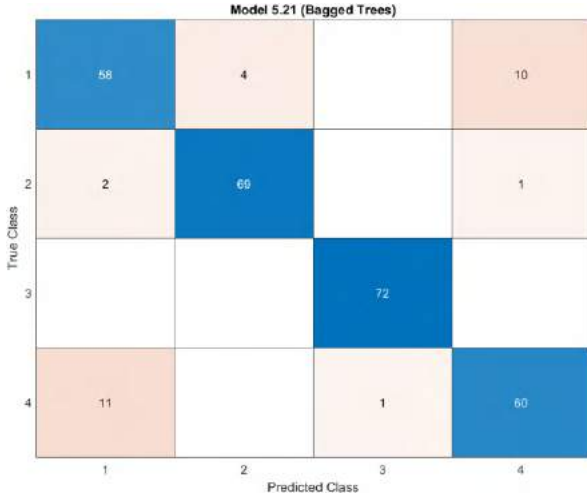
Makine Öğrenmesi Modeli	Sınıflandırma Sonucu (Doğruluk)
Destek Vektör Makineleri (DVM) (Medium Gaussian)	90.6 %
Ensemble (Bagged Trees)	89,9 %
k-NN (Weighted k-NN)	89.6 %

“Şekil-7”de görüldüğü üzere 1 ve 3 numaralı hareketler, 2 ve 3 numaralı hareketler, 3 ve 4 numaralı hareketler, 4 ve 2 numaralı hareketler yüksek doğruluk oranları ile DVM algoritması kullanılarak tespit edilmiştir.



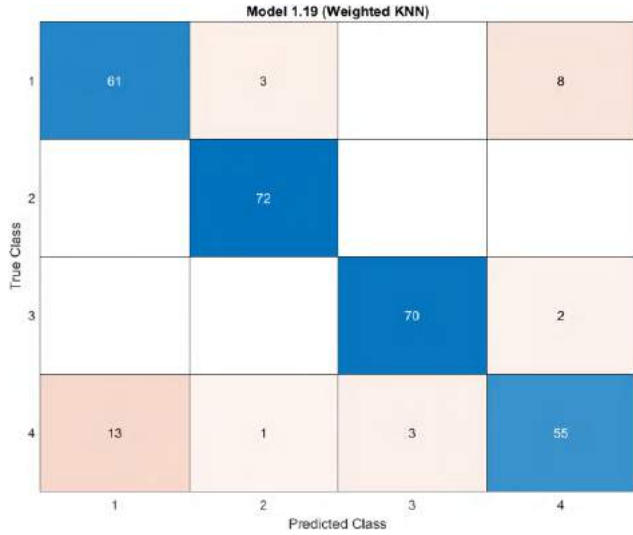
Şekil 7: DVM Karışıklık Matrisi (Jiroskop verisi için yapılan çalışma)

“Şekil-8”de görüldüğü üzere 1 ve 3 numaralı hareketler, 2 ve 3 numaralı hareketler, 3 ve 4 numaralı hareketler, 2 ve 2 numaralı hareketler yüksek doğruluk oranları ile Ensemble (Bagged Trees) algoritması kullanılarak tespit edilmiştir.

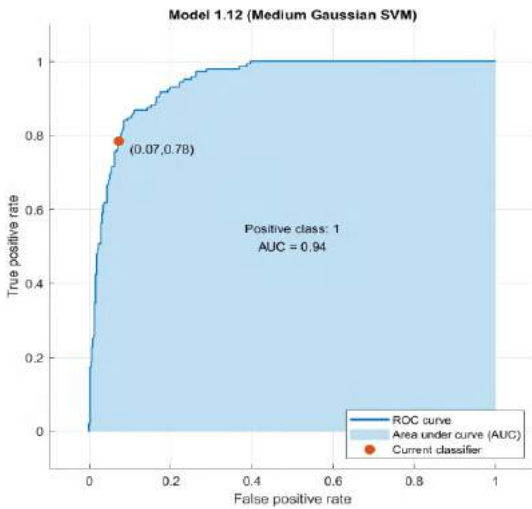


Şekil 8: Ensemble (Bagged Trees) Karışıklık Matrisi (Jiroskop verisi için yapılan çalışma)

Şekil-9’da görüldüğü üzere 1 ve 3 numaralı hareketler, 2 ve 3 numaralı hareketler, 2 ve 4 numaralı hareketler yüksek doğruluk oranları ile k-NN algoritması kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 9: k-NN Karışıklık Matrisi (Jiroskop verisi için yapılan çalışma)



Şekil 10: ROC-AUC Eğrisi (Tüm veri için yapılan çalışma)

Şekil 11: ROC-AUC Eğrisi (Jiroskop verisi için yapılan çalışma)

Bu çalışmada seçilecek modelde en az %90 başarı oranı yakalamak amacıyla çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Uygulamalardan tercih edilen birinci yöntem jiroskop ve ivmeölçer verisinden elde edilen öznitelikler kullanılarak modeller denenmiştir. Bu işlem sonucunda “Tablo-1” ve “Şekil-4”te görüleceği üzere %87.7 doğrulukla sınıflandırma yapılmaktadır. Burada performans ölçütü olarak eğrinin altında kalan alan (AUC) yöntemi de “Şekil-10”da gösterilmiştir. Buradaki grafikte görülebileceği üzere 0.94 AUC değeriyle yüksek performanslı bir sınıflandırma gerçekleşmektedir. Sınıflandırma işleminin, veri elde etme yöntemlerinden biri olan yalnızca jiroskop verileriyle yapılması durumunda “Tablo-3” ve “Şekil-7”de görülebileceği üzere %90.6 doğrulukta sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Burada performans ölçütü olarak eğrinin altında kalan alan (AUC) yöntemi de “Şekil-11”de gösterilmiştir. AUC yöntemiyle yapılan değerlendirmede 0.96 AUC değeriyle yine yüksek performanslı bir sınıflandırma gerçekleştirilmektedir. Elde edilen bulgular literatürle karşılaştırıldığında genel olarak literatürde bulunan sensör verisi ile hareket tanımlama çalışmalarından elde edilen başarı oranları ile uyumlu ve hatta daha yüksek başarı oranlı sonuçlar elde edildiği ortaya konulmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada yapılan işlemler “Şekil-1”de belirtilen akış şemasında belirtilen şartlar dahilinde gerçekleştirilmiş ve sınıflandırma başarısı en yüksek model olan DVM modeli literatürle uyumlu bir şekilde %90.6 ile sınıflandırmayı gerçekleştirmiştir. Diğer başarılı modeller sırasıyla %89.9 başarı oranıyla Ensemble (Bagged Trees) ve %89.6 başarı oranıyla k-NN modeli olarak sonuçlanmıştır.

Burada karışıklık matrislerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 1 numaralı hareket olan “Merdiven İnme” ve 4 numaralı hareket olan Merdiven Çıkma” verisi benzerliklerinden dolayı birbirlerine karışmaktadır. Bunun için gelecek çalışmalarda literatür taraması yapılarak tespit edilen farklı öznitelikler kullanılarak sınıflandırma başarısı artırılabilir.

Bu çalışmada kullanılan modellerde 3 numaralı hareket olan “Ayakta Durma” verisi tüm algoritmalarda yüksek doğrulukla ayrışabildiği görülmüştür.

Elde edilen bulguların genel olarak literatürle uyumlu ve literatüre katkı sağlayacak nitelikte olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada elimizdeki veri setine bağlı olarak merdiven inme, merdiven çıkma, koşma ve ayakta durma sınıflandırmaları yapılmıştır. Ancak günlük hayatta oturma, yürüme, el yıkama, yüzme, zıplama vb. birçok hareket tipi bulunmaktadır. Çalışmanın geliştirilmesi için farklı veri setleri kullanılmalı veya bu aktiviteleri de içeren veri seti oluşturularak kullanılan modelin başarısı kontrol edilmelidir.

Kaynakça

- [1] Malekzadeh, M., Clegg, R.G., Cavallaro, A., Haddadi, H., "Mobile sensor data anonymization", *In Proceedings of the International Conference on Internet of Things Design and Implementation (IoTDI '19)*, ACM, New York, NY, USA, 49-58, 2019.
- [2] Yan, W., Sun, Cang S., Yu, H., "A survey on wearable sensor modality centred human activity recognition in health care ", *Expert Systems With Applications*, 137 (2019) 167–190, 2019.
- [3] Jia, H., Chen, S., "Integrated data and knowledge driven methodology for human activity recognition", *Information Sciences*, 536(2020), 409-430, 2020.
- [4] Nweke, H.F., Teh, Y.W., Al-garadi, M.A., Alo, U.R., "Deep learning algorithms for human activity recognition using mobile and wearable sensor networks: State of the art and research challenges", *Expert Systems With Applications* 105 (2018), 233-261, 2020.
- [5] Subasi, A., Fllatah, A., Alzobidi, K., Brahimi, T., Sarirete, A., "Smartphone-Based Human Activity Recognition Using Bagging and Boosting", *Procedia Computer Science* 163 (2019), 54-61, 2019.
- [6] Jobanputra, C., Bavishi, J., Doshi, N., "Human Activity Recognition: A Survey", *Procedia Computer Science* 155 (2019), 698-703, 2019.



Ultrases ve Kaplama Ön İşlemlerinin Infrared Kurutulmuş Ayva Numunelerinde Kuruma Verimi ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi

Tansu Yıldırım^{1*}, Oya Sipahioğlu²

^{1*} Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5624-6948), tansuyildirim01@hotmail.com

² Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2932-6007), oyasipahioğlu@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010668)

ATIF/REFERENCE: Yıldırım, T. & Sipahioğlu, O., (2021). Ultrases ve Kaplama Ön İşlemlerinin Infrared Kurutulmuş Ayva Numunelerinde Kuruma Verimi ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 819-825.

Öz

Bu çalışmanın amacı ayva işlemede infrared kurutma sisteminde ön işlem olarak ultrases ile düşük metoksil pektin ve sodyum aljinat kaplama uygulamalarının kurutulmuş ayvaların fiziko-kimyasal kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesidir. Kurutma öncesi ayva örnekleri (2 cm x 2 cm x 0.5 cm) 70 °C'de etüvde 24 saat ve 105 °C'de infrared kurutma cihazında kurutulmuştur. Beş farklı yöntem ile kurutulan ayvaların fizikokimyasal özellikleri (nem, kül, titrasyon asitliği, suda çözünebilir kuru madde, yağ ve protein) tespit edilmiş; pH, su aktivitesi, çekme oranı, rehidrasyon kapasitesi, renk, toplam fenolik, toplam flavonoid içerikleri, antioksidan kapasiteleri (TEAC ve DPPH) ve tekstürel özellikleri karşılaştırılmıştır. Düşük metoksil pektin ve sodyum aljinat kaplama işlemi örneklerin fenolik ve antioksidatif bileşiklerin kaybını azaltmıştır. Infrared kurutma işlemi ayvaların fenolik, antioksidatif ve flavanoid bileşiklerini koruduğu tespit edilmiştir. Ultrases ön işlemi uygulanıp infrared kurutulan örneklerin fenolik, antioksidatif ve flavanoid bileşiklerinin miktarında bir artış gözlenmiştir. Infrared kurutma işleminde L değerinde artış meydana gelmiştir. L değerinde görülen artış esmerleşme reaksiyonlarının azaldığının göstergesidir. Düşük metoksil pektin kaplama uygulanıp infrared kurutulan örneklerde L ve b* değerinde artış, a* değerinde azalış tespit edilmiştir. Ultrases ve kaplama ön işlemleri uygulanıp infrared kurutulan ayvaların renginin korunduğu tespit edilmiştir. Ayva örneklerinin sertlik özellikleri tekstür analizi ile incelenmiştir. Etüv kurutmada görülen kurutma süresi artışının, ürün sertlik değeri üzerinde artırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalar infrared sistemde kurutma işleminin ayva örneklerinin aşırı sertleşmesini önleyen bir yöntem olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, ayva meyvesinin antioksidan aktivite, toplam fenolik bileşik, toplam flavanoid ve tekstürel özelliklerini korumak için sodyum aljinat ve düşük metoksil pektin kaplamaların yenilebilir kaplamalar olarak kullanılabilirliği, ultrases ve kaplama ön işlemlerinin infrared kurutulmuş ayva örneklerinde kuruma verimini ve kalitesini artırmada etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayva, Kaplama, Ultrases, Infrared Kurutma, Antioksidan Aktivite.

The Effect of Ultrasound and Coating Pretreatments on Drying Yield and Quality Parameters of Infrared Dried Quince Samples

This study aims to determine the effects of ultrasound and low methoxy pectin and sodium alginate coating applications on the physicochemical quality of dried quince in infrared drying systems in quince processing. Before drying, quince samples (2 cm x 2 cm x 0.5 cm) were dried in an oven at 70 °C for 24 hours and at 105 °C in an infrared drying device. The physicochemical properties (moisture, ash, titration acidity, water-soluble dry matter, oil, and protein) of quinces dried by five different methods were determined; pH, water activity, shrinkage ratio, rehydration capacity, color, total phenolic, total flavonoid contents, antioxidant capacities (TEAC and DPPH) and textural properties were compared.

* Sorumlu Yazar: tansuyildirim01@hotmail.com

The low methoxyl pectin and sodium alginate coating process reduced the loss of phenolic and antioxidative compounds of the samples. It has been determined that the infrared drying process preserves phenolic, antioxidative, and flavonoid compounds of quinces. An increase in the amount of phenolic, antioxidative, and flavonoid compounds was observed in the ultrasound pretreatment and infrared dried samples. The L value increased in the infrared drying process. The increase in L value is an indication of a decrease in browning reactions. An increase in L and b* values and a decrease in a* values were detected in the samples that were applied low methoxyl pectin coating and infrared dried. It has been determined that the color of the quince, which is infrared dried after applying ultrasound and coating pre-treatments, is preserved. The hardness properties of quince samples were investigated by texture analysis. It has been determined that the increase in drying time in oven drying has an increasing effect on the product hardness value. Studies have shown that drying in the infrared system is a method that prevents excessive hardening of quince samples. As a result, it has been shown that sodium alginate and low methoxyl pectin coatings can be used as edible coatings to preserve the antioxidant activity, total phenolic compound, total flavonoid and textural properties of quince fruit, and ultrasound and coating pretreatment is an effective method to increase the drying yield and quality of infrared dried quince samples.

Keywords: Quince, Coating, Ultrasound, Infrared Drying, Antioxidant Activity.

1. Giriş

İnsanların günlük ihtiyaçlarının giderilmesinde beslenmenin önemi oldukça yüksektir. Meyve ve sebzeler yapılarındaki yüksek nem içeriğiyle kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan sıkça bozulabilen gıda bileşenleridir [1]. Günümüzde geleneksel kurutma olarak bilinen güneşte kurutma işleminin çok sağlıklı olmaması, gıdaya havadan ve topraktan bazı mikroorganizmaların bulunması ve küf gelişiminin önlenememesi gibi sebepler farklı kurutma yöntemlerinin bulunmasına ihtiyaç doğurmuştur. Ayva (*Cydonia oblonga*), Rosaceae familyasından olup *Cydonia* cinsidir. Ayva asitliği yüksek, yumuşak çekirdekli ancak sert formlu, kabukları tüylü bir meyvedir. Ayvanın lifli yapısı sindirimin kolaylaşmasını sağlar. Pektin E440 koduna sahip gıda katkı maddesidir. Pektin meyve ve sebzelerde yüksek oranda bulunan bir polisakarittir. Pektin molekülü D-galakturnik asit monomerlerinin α -1,4 bağı ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Esterleşme derecesine göre pektinler düşük metoksilli ve yüksek metoksilli pektin olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Düşük metoksilli pektinlerin esterleşme derecesi %50 ve %50'nin altında, yüksek metoksilli pektinlerin esterleşme derecesi %50'nin üstünde olmaktadır. Pektinin kullanım alanları; gıda, ilaç, tekstil ürünlerinde jel yapıcı olarak, stabilizasyon, emülsifiyan, yenilebilir filmler, köpükler, plastikleştiriciler, kâğıt sübstituentler yer almaktadır. Ayvada pektin yüksek oranda bulunmaktadır.

Aljinatlar kahverengi deniz yosunlarının (*Phaeophyceae*) hücre duvarlarından elde edilen polisakaritlerdir. Aljinatlar β -D-mannuronik asit (M) ve α -L-glukuronik asidin (G) 1-4 glikozidik bağlarla bağlanan dallanmamış yapılardır. Sodyum aljinat ise geri dönüştürülebilir, biyo-uyumlu bir materyaldir. Gıda endüstrisinde sodyum aljinat; jelleştirici, emülsiyon sabitleyici, viskozite ve kıvam artırıcı olarak içecekler, soslar, çorbalar ve tatlılarda kullanılmaktadır. Sodyum aljinatın farkedilebilen aroması yoktur, vücutta sindirilemez ve jelleşme hızı yüksektir. Sodyum aljinatın oluşturduğu jel geriye dönüştürülemez ve ısıya dayanıklıdır. Sodyum aljinat doğal bir selülozdir ve kanda yağ asitlerinin, safra tuzlarının, şekerin emilimini düşürmektedir. Aynı zamanda serum kolesterolü azaltıcı etkisi vardır. Sodyum aljinat stronsiyum (Sr), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi ağır metallerin vücutta birikmesini önleyen bir katkı maddesidir. Vücutta zararlı etkileri olan radyoaktif toksinleri bağlayan iyi bir şelat ajanıdır [2]. Kaplama materyalleri yüksek işlem sıcaklığında uygulandığında, hücre çökmesini azaltarak daha yüksek su difüzyonu sağlamaktadır.

Ultrases enerjisi, nesnelere titreşiminden oluşur ve ortam içinde bir yerden başka bir yere sıkışma ve genişleme hareketiyle ilerleyen mekanik bir enerji formudur [3]. Gıdaya uygulanan ısı işlemler ultrases ile kombinasyon halinde kullanıldıklarında

olumsuz etkiler nispeten azalabilmektedir. Ultrases teknolojisi çevreye dost, güvenli, düşük maliyetli bir teknolojidir. Infrared ısıtma teknolojisi 0,5-100 μ m dalga boyunda uygulanan elektromanyetik spektruma sahiptir. Ultrases ön işlemi hücre zarını parçalayarak suyun difüzyonunu artırmaktadır. Infrared kurutma, sıcak hava ile kurutma yöntemine kıyasla ürünün yapısını bozmadan kurutma sağlar. Infrared kurutma sisteminin kurutma süresinin kısa olması, yüksek ısı verimliliği, homojen ısıtma sağlaması, kalite kayıplarının ve gıda bileşenlerinin besinsel kayıplarını kısıltması, basit ekipman sistemi, zaman ve enerji tasarrufu sağlaması yönünden avantajları infrared kurutmanın tercih edilmesini sağlamaktadır [4].

2. Materyal ve Metot

2.1. Ayva Numunelerine Ultrases Ön İşlemi Uygulanması

Ayvalar 250 mL'lik plastik torbalar içerisine katı/çözelti oranı 1:4 olmak üzere yerleştirilmiş ve işlem 40 °C sıcaklıkta su banyosu kullanılarak yürütülmüştür. İşlem süresi 40 dk olarak belirlenmiştir. Ön işlem sonrasında örneklerin yüzeyindeki su kaba filtre kâğıdı ile kurulandıktan sonra tartım yapılmıştır.

2.2. Ayva Numunelerine Kaplama İşlemi Uygulanması

Ultrases ön işlemi uygulanan ayva numuneleri 5 dk boyunca %1 sodyum aljinat (SA) ve %2 düşük metoksil pektin (LMP) içine daldırılmıştır. Daha sonra SA kaplı ayva numuneleri %1 kalsiyum klorür (CaCl_2) ve LMP kaplı ayva numuneleri %2 kalsiyum klorür (CaCl_2) çözeltisi içinde 30 dk süreyle bekletilmiştir. Numuneler, CaCl_2 çözeltisinden çıkarıldıktan sonra kalsiyum ve kaplama malzemesi arasında çapraz bağlanmanın daha sıkı olması için oda sıcaklığında 5 dk bekletilmiştir. Son olarak, numuneler CaCl_2 kalıntısı kalmaması için su ile yıkandıktan sonra suyun daha iyi süzülmesi için filtre kâğıdından geçirilmiş ve filtre kâğıdı üzerinde kalan ayva numuneleriyle gerekli işlemler yapılmıştır [5].

2.2.1. Nem Tayini

Ayva numunelerinde nem miktarı AACC 44-19 metoduna göre belirlenmiştir. Petri kaplarına 5,0±0,1 g 2x2x0,5 cm boyutundaki ayva örnekleri tartılmış ve 75±1 °C'de 24 sa boyunca işlem devam etmiştir [6].

2.2.2. Kül Tayini

Kül miktarı ayva numunelerinde AACC 08-01 metodu ile belirlenmiştir. Örnekler 550-600 °C' de gri-beyaz kül rengi oluşuncaya kadar yakma işlemi yapılmıştır [7].

2.2.3. pH ve Titrasyon Asitliği Tayini

Ayva örneklerinden örneklerden 5 g alınıp üzerine 100 mL deiyonize su ilave edilerek homojenize edilmiştir. Daha sonra elde edilen karışım filtre kâğıdı ile süzülmüştür. Elde edilen örneğin pH değeri, pH metre elektrodu kullanılarak belirlenmiştir [8]. Titrasyon asitliği tayini için 1 g ayva numunesi tartılıp saf su ile 50 mL' ye seyreltilmiştir. Homojenize edilip seyreltilen örnekten 20 mL alınarak birkaç damla fenolftalein indikatörü eklendikten sonra, kalıcı pembe bir renk elde edilene kadar 0,1 N NaOH ile titre edilmiştir [9].

2.2.4. Su Aktivitesi (a_w) Tayini

Örnekler ölçüm cihazının kaplarına kabın 3/4'ünü dolduracak miktarda konulmuş ve oda sıcaklığında (25±0.2 °C) denge nem değerine ulaşana kadar bekletilmiş, a_w değeri dijital göstergeden kaydedilmiştir [7].

2.2.5. Suda Çözünabilir Kuru Madde Tayini

Taze ve kurutulmuş ayva örnekleri homojenizatörden geçirildikten sonra numunelerin suda çözünabilir kuru madde miktarı (SÇKM) dijital refraktometre ile belirlenmiştir.

2.2.6. Çözücü Ekstraksiyonu ile Yağ Miktarı Tayini

Ayva numunelerinde yağ miktarı Soxhlet yöntemi kullanılarak AACC 30-25 metodu ile belirlenmiştir. Örneklerden 3'er g tartılarak kartuşlara yerleştirilmiştir. Yağ miktarı tayininde çözücü olarak yaklaşık 1.5 sifon yapacak miktarda kaynama noktası 40-60 °C olan petrol eteri çözücüsü ile 6 sa Soxhlet ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstraksiyon süresi sonunda kalan çözücü döner buharlaştırıcıda uzaklaştırılmıştır [10].

2.2.7. Protein Tayini

Ayva numunesinin protein içeriği, Kjeldahl yöntemine dayanan AOAC 2000'e göre %azot miktarı ölçülerek belirlenmiştir. 1 g örnek üzerine 25 ml H₂SO₄ ve 1 adet Kjeldahl tableti konulup yakma işlemi yapılmıştır. Kjeldahl balonuna ise yakılan örnek ve 125 mL %40'lık NaOH çözeltisi ilave edilerek distilasyon yapılmıştır. Daha sonra 50 mL borik asit konulup HCl ile titrasyon yapılmıştır. Titrasyondan sonra %Protein miktarı hesaplanmıştır.

2.2.8. Rehidrasyon Kapasitesi

Ayva örneklerinden 1 g alınmış ve 80 °C sıcaklıktaki distile su içerisinde 15 dk bekletilmiştir. Daha sonra numuneler süzülüş ve işlem sonrası ağırlık artışı ölçülmüştür.

2.2.9. Çekme Oranı

Ayva numunelerinin çekme oranı, kurutulmuş numunelerin köşegen uzunluğu ve kurutma öncesi taze ayva numunelerinin köşegen uzunluğuna oranıdır. Her bir ayva numunesinin çapı, 0,01 mm duyarlılıkta dijital bir kumpas kullanılarak ölçülmüştür.

2.2.10. Toplam Fenolik Madde Analizi

Toplam fenolik madde tayininde Folin Ciocalteu yöntemi kullanılmıştır. Denemeler sonunda seyreltilen ekstraktan deney tüplerine 0,4 mL alınmış ve tüplerin üzerine 2 ml saf su ile 10 kat

seyreltilen Folin & Ciocalteu ayraç eklenerek çalkalanmıştır. 5 dakika bekletildikten sonra 1,6 mL % 7,5'luk sodyum karbonat çözeltisi eklenmiş ve balon içeriği damıtık su ile balon çizgisi işaretine tamamlanmıştır. Deney tüpleri oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 1 sa bekletildikten sonra spektrofotometrede (UV-spektrofotometre UV-1800, Shimadzu, Japonya) 765 nm dalga boyunda kör çözeltiye karşı okuma yapılmıştır.

2.2.11. Toplam Flavanoid Miktarı Tayini

Ayva örneklerinden hazırlanan ekstraktlar belli oranda seyreltilip ekstraktlardan 1 mL alınıp deney tüplerine alınmıştır. Üzerine %5'lik hazırlanan NaNO₂ çözeltisinden 0,3 mL eklenmiş ve 5 dk bekletilmiştir. Süre sonunda %10'luk hazırlanan ALC₃ çözeltisinden 0,3 mL eklenerek 1 dk bekletilmiştir. Süre sonunda tüplere 2 mL 1 M NaOH çözeltisi eklenmiş ve toplam hacim 10 mL olacak şekilde saf su ile tamamlanmıştır. Kör çözelti için örnek yerine aynı miktarda saf su eklenerek örnek için uygulanan işlemler yapılmıştır. Spektrofotometrede kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması için belli konsantrasyonlarda kuersetin standart çözeltileri hazırlanmış ve tüplere 1 mL eklenmiştir. Hazırlanan çözeltilerin absorbans değerleri spektrofotometrede 510 nm'de okunmuştur.

2.2.12. DPPH Serbest Radikal Yakalama Aktivitesi Tayini

Ayva numunelerin antioksidan aktivite tayini DPPH yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam fenolik madde tayininde belirlenen yöntemle örnek ekstraksiyonu yapılmıştır. Hazırlanan ekstrakt seyreltme işlemi yapılmadan analizde direkt kullanılmıştır. Analizde hazırlanan ekstraktlardan tüplere 30 µL konulmuştur. Üzerine 270 µL %80'lik metanol çözeltisi ve 270 µL DPPH çözeltisinden eklenmiştir. Hazırlanan çözelti karanlıkta oda sıcaklığında 1 sa bekletilmiştir. Süre sonunda spektrofotometrede 520 nm dalga boyunda saf metanole karşı okuma yapılmıştır.

2.2.13. TEAC (ABTS) ile Antioksidan Kapasite Analizi

Antioksidan kapasitenin belirlenmesinde ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzothiazolin 6-sulfonik asit) radikali kullanılmıştır. ABTS radikali hazırlanırken, 0,0384 g ABTS radikali tartılmıştır, üzerine 0,01225 M hazırlanan potasyum persülfat çözeltisinden (PBS) 2 mL eklenmiş ve saf su ile 10 mL ye tamamlanmıştır. Hazırlanan bu çözelti analizde kullanılmadan önce 12-16 sa karanlıkta oda sıcaklığında bekletilmiştir. Tuzlu fosfat tamponu (PBS) hazırlanırken 19 mL 0,2 M NaH₂PO₄ ve 81 ml 0,2 M Na₂HPO₄ çözeltileri tartılarak 1000 mL lik balona konulmuştur. Üzerine 8,77 g NaCl katısı eklenerek saf su eklenmiş ve pH 7,4 olacak şekilde ayarlanmıştır. pH 7,4'e ayarlandıktan sonra balon hacmi 1000 mL olacak şekilde saf su ile tamamlanmıştır. Analiz esnasında ABTS radikali spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda fosfat tamponu (PBS) ile seyreltilerek 0,698-0,720 absorbans değerini verecek şekilde ayarlanmıştır. Örnekler 20, 40, 60 ve 80 µL ye PBS ile seyreltilmiştir. Seyreltilen örneklerden 20, 40, 60 ve 80 µL alınarak 2 mL hacmine sahip plastik küvetlere konulmuştur. Üzerine 2 mL ABTS radikali eklenmiş ve 6 dk bekletilmiştir. Süre sonunda örneklerin spektrofotometrede absorbans değerleri okunmuştur.

2.2.14. Renk Analizi

Ayva örneklerinde üç boyutlu renk ölçümü esasına dayanan minolta kolorimetre (Chroma Meter, CR-500, Minolta, Japonya) cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Renk ölçümü numunenin kuruma öncesinde ve kuruma sonrasında 5 farklı ayva numunesinde

Hunter renk sistemine göre (L, a, b) yapılmıştır. Örneklerin cihaz ekranından okunan Hunter L (parlaklık), a (kırmızılık-yeşillik) ve b (sarılık-mavilik) değerleri kaydedilmiştir.

2.2.15. Tekstür Profili Analizi (TPA)

Ayva örneklerinin tekstür profil analizi (TPA), Texture Analyser cihazı (TAXT2 Plus, Stable Micro Systems, İngiltere) ile belirlenmiştir. Seçilen numuneler cihaz platformunun

2.2.16. İstatiksel Analiz

Yapılan uygulamaların ayva örneklerine etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen veriler

merkezine yatay olarak yerleştirilmiş ve silindirik paslanmaz çelik prob yardımıyla baskı uygulanmıştır. Test parametreleri; test öncesi hız 2.00 mm/s, test hızı 2 mm/s, test sonrası hız 2.00 mm/s, mesafe 5 mm, süre 5 s ve başlangıç kuvveti 5 g olarak belirlenmiştir. Ayva örneklerinin arka arkaya iki kez sıkıştırılmasıyla analiz gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan tekstür cihazının yazılımı (Texture Exponent 32) kullanılarak ayva numunelerinin sertlik (hardness) parametreleri TPA eğrisinden hesaplanmıştır [11].

Minitab 18.0 programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Değerlerin ortalamasının kıyaslanmasında tek faktör varyans analizi (ANOVA), gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde ise Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Veriler %95 güven aralığında test edilmiştir.

Tablo 1. Deneysel Tasarım

Uygulanan İşlemler	Ön İşlem	Kurutma Sistemi	Sıcaklık (°C)	Süre
E	-	Etüv	75	24 saat
IR	-	Infrared	105	Sabit ağırlığa ulaşmaya kadar
US+IR	35 kHz/40 dk ultrases	Infrared	105	Sabit ağırlığa ulaşmaya kadar
US+LMP+IR	35 kHz/40 dk ultrases ve %2 LMP kaplama	Infrared	105	Sabit ağırlığa ulaşmaya kadar
US+SA+IR	35 kHz/40 dk ultrases ve %1 SA kaplama	Infrared	105	Sabit ağırlığa ulaşmaya kadar

[E: Etüv kurutma, IR: Ön işlemsiz infrared kurutma, US: Ultrases, LMP: Düşük metoksil pektin kaplama, SA: Sodyum aljinat kaplama]

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Fenolik bileşikler meyve ve sebzelerde genellikle çok az miktarda bulunan bileşiklerdir. Fenolik bileşikler, acı ve buruk tadın oluşmasında rol alırken bir kısmı meyve ve sebzelerin kırmızı-mavi, sarı, sarı-esmer renginin oluşmasında rol oynarlar. Ultrases teknolojisi ön işlem olarak uygulandığı durumlarda polifenollerin, polisakartların, yağların, antosiyanidinlerin ve fonksiyonel bileşiklerin ekstraksiyonunu artırıcı etkisi bulunmaktadır [12, 13]. Gıdalarda kullanılan yenilebilir kaplamalar, gıdanın doku yumuşamasına ve esmerleşme reaksiyonlarına karşı enzimatik oksidasyonu geciktirerek koruma

sağlamaktadır. Yenilebilir kaplamalar renk bileşenlerinin kaybını önleyici özellik gösterirler. Enzimatik aktivitelerin kontrol edilmesini sağlarlar.

Yenilebilir kaplama, nem ve gaz bariyeri özellikleri sağlayarak gıda kalitesini korumaya ve raf ömrünü iyileştirmeye yönelik potansiyel bir alternatiftir. Kaplama, genellikle su uzaklaştırmanın önündeki bir engel olarak düşünülebilir. Bununla birlikte, yüksek işlem sıcaklığında kaplama, hücre çökmesinin azaltılmasına yardımcı olabilmekte ve daha yüksek su difüzyonu sağlamaktadır. Aynı zamanda kaplama materyalleri hücre zarının aşırı yumuşamasını önlemektir.

Analizler	T	E	IR	US+IR	US+LMP+IR	US+SA+IR
Nem (%)	86,48 ^a	10,38 ^c	16,52 ^b	12,67 ^c	18,69 ^b	18,25 ^b
Su Aktivitesi (a _w)	0,24 ^a	0,22 ^b	0,22 ^b	0,21 ^b	0,22 ^b	0,22 ^b
SÇKM (%)	0,21 ^d	1,30 ^a	1,35 ^a	-	0,98 ^b	0,90 ^c
Kül (%)	0,02 ^b	0,02 ^b	-	-	0,07 ^a	0,06 ^a
pH	4,36 ^a	3,94 ^b	-	-	3,97 ^b	3,90 ^c
Titrasyon Asitliği (%)	0,015 ^c	0,070 ^b	-	-	0,013 ^d	0,125 ^a
Yağ (%)	0,04 ^c	0,15 ^{a,b}	-	-	0,20 ^a	0,10 ^{b,c}
Protein (%)	0,01 ^c	0,02 ^b	-	-	0,04 ^a	0,10 ^a
Rehidrasyon Oranı	-	1,64 ^c	2,14 ^b	2,26 ^b	2,54 ^a	2,19 ^b
Çekme Oranı	-	1,983 ^a	1,937 ^{a,b}	1,779 ^c	1,787 ^{b,c}	1,970 ^{a,b}

Aynı sütundaki farklı küçük harflerle belirtilen değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark bulunmaktadır (p<0,05).

[T: Taze ayva, E: Etüv kurutma, IR: Ön işlemsiz infrared kurutma, US: Ultrases, LMP: Düşük metoksil pektin kaplama, SA: Sodyum aljinat kaplama]

Ayva örneklerinin nem değerlerinin belirlenmesinde etüv ve infrared kurutma işlemleri belirgin bir farka sebep olmuştur. Infrared kurutma işlemi ayvaların nem içeriğinin korunmasını sağlamaktadır. Ayva örneklerine kaplama materyali uygulaması suyun yapıda korunmasını sağlayarak ürünün nem kaybetmesini önleyen bir işlemdir.

Örneklerin infrared kurutulması üzerine sodyum aljinat ve düşük metoksil kaplama uygulamaları örneklerinin titrasyon asitliği ve pH değeri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmuştur ($p<0,05$). Etüvde kurutma işleminin titrasyon asitliği ve pH değeri üzerine etkisi yok denecek kadar az olmuştur. Ayva örneklerinin kuruma sonrasında çekme oranları karşılaştırıldığında etüvde ve infrared kurutma sisteminde

Meyve ve sebzelerde yağ ve protein oranı genellikle düşüktür. Bulgular incelendiğinde yağ içeriği taze ayvada en düşük bulunurken kaplama işlemlerinde yağ içeriğinde istatistiksel bir artış gözlenmiştir. Bunun sebebi infrared kurutma işleminden önce yapılan ultrases ön işleminden kaynaklanmaktadır. Ayvalar üzerine düşük metoksil pektin ve sodyum aljinat kaplama uygulaması yağ içeriğini etkilemiştir. Ayva örneklerinin protein

kurutulan örnekler istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır ($p<0,05$). Çekme oranı üzerine sodyum aljinat ile düşük metoksil pektin kaplaması karşılaştırıldığında, tüm işleme koşulları altında sodyum aljinat ve düşük metoksil pektin kaplı numuneler arasında performans oranında önemli bir fark bulunmamıştır. Sodyum aljinat kaplama işlemi istatistiksel açıdan bir artış göstermiştir. Örneklerin rehidrasyon oranlarının belirlenmesinde etüv ve infrared kurutma işlemleri belirgin bir farka sebep olmuştur. Çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde ultrases uygulaması örneklerin rehidrasyon oranı değerinde artış meydana getirmiştir. Bunun nedeni ultrases uygulamasının hücre zarının parçalayarak suyun geri kazanımını artırmasından kaynaklanıyor olabilmektedir.

içeriği en yüksek ultrases ile birlikte sodyum aljinat kaplama uygulanıp infrared kurutma uygulanan ayvalarda gözlenmiştir. Bu işlemi ultrases ile birlikte düşük metoksil pektin kaplama uygulanıp infrared kurutulan işlem takip etmektedir. Burada ultrases ön işleminin etkisi olduğu söylenebilir. Etüvde kurutulan örneklerin protein içeriği taze ayvaya yakın bulunmuştur. Ultrases ön işlemi ayvaların hücre zarını parçalayıp azotlu bileşiklerin tayin edilmesini kolaylaştırdığı söylenebilir.

Tablo 3. 2 Bulgular

Analizler	T	E	IR	US+IR	US+LMP+IR	US+SA+IR
Toplam Fenolik Bileşik Miktarı (mg GAE/g)	2,04 ^d	2,28 ^d	6,03 ^a	3,57 ^c	4,50 ^b	3,64 ^c
Toplam Flavanoid Miktarı (mg KE/g)	0,12 ^c	0,49 ^{b,c}	1,21 ^{a,b}	1,29 ^a	0,89 ^{a,b,c}	0,70 ^{a,b,c}
DPPH (mg GAE/g)	22,03 ^c	39,54 ^b	57,08 ^a	42,31 ^b	53,38 ^a	36,52 ^b
ABTS (µmol Trolox/mg)	26,42 ^b	20,20 ^b	35,74 ^a	21,30 ^b	38,96 ^a	22,61 ^b
L*	55,36 ^b	39,86 ^c	52,27 ^{b,c}	46,00 ^d	61,83 ^a	45,11 ^{c,d}
a*	3,15 ^c	15,06 ^a	17,39 ^a	14,32 ^{a,b}	11,05 ^b	16,45 ^a
b*	26,65 ^b	15,56 ^d	31,66 ^a	22,79 ^c	27,27 ^b	25,16 ^{b,c}
Sertlik (N)	22,79 ^{a,b}	34,19 ^a	31,08 ^{a,b}	21,24 ^b	31,60 ^{a,b}	32,63 ^{a,b}

Aynı sütundaki farklı küçük harflerle belirtilen değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark bulunmaktadır ($p<0,05$). [T: Taze ayva, E: Etüv kurutma, IR: Ön işlemsiz infrared kurutma, US: Ultrases, LMP: Düşük metoksil pektin kaplama, SA: Sodyum aljinat kaplama]

Çalışma bulguları incelendiğinde ön işlemlerin ve kurutma yöntemlerinin meydana getirdiği etki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Örneklerin toplam fenolik bileşik miktarları 2,04 ile 6,03 mg GAE/ g aralığında bulunmuştur. Ultrases uygulaması örneklerin toplam fenolik bileşik değerinde

düşüş meydana getirmiştir. Düşük metoksil pektin ve sodyum aljinat kaplama örneklerin toplam fenolik bileşik miktarında belirgin bir farka sebep olmuştur. Fenolik bileşikler yüksek antioksidan kapasitesiye sahiptirler. Bu sebeple toplam fenolik bileşik miktarındaki artış antioksidan kapasitedeki artışla paralel olduğu söylenebilir.

Örneklerin toplam flavanoid miktarı 0,12-1,29 mg KE/g aralığında bulunmuştur. Ayva örnekleri üzerine yapılan işlemlerin flavanoid içeriğine olan etkisi incelendiğinde ultrases ön işleminin etkisi kontrol, etüvde kurutma ve kaplama işlemlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi ultrases ön işleminin yapıda mikroskobik kanallar oluşturarak flavanoid

bileşiklerinin ölçülmesine etkisi olduğu düşünülmektedir. Kaplama uygulamaları ise iç ve dış yapının gözenekliliğini azaltması sebebiyle flavanoid bileşiklerin belirlenmesini ultrases ön işleme göre azaltmıştır. Düşük metoksil pektin ve sodyum aljinat kaplama uygulaması ayva örneklerinin toplam flavanoid miktarını istatistiksel açıdan etkilemediği tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayva örnekleri sodyum aljinat ve düşük metoksil pektin ile kaplandığında kalın ve pürüzlü bir film tabakası oluşmakta ve ayvanın hücresel yapısına nüfuz etmektedir. Böylece kaplama materyallerinin örneklerin flavanoid bileşiklerinin belirlenmesini zorlaştırdığı tespit edilmiştir.

Örneklerin DPPH metodu kullanılarak antioksidan aktivitelerinin belirlenmesinde etüv ve infrared kurutma işlemleri belirgin bir farka sebep olmuştur. Ultrases uygulaması örneklerin DPPH değerinde artış meydana getirmiştir. Ayvaların kurutulmasında düşük metoksil pektin ve sodyum aljinat kaplama malzemesi infrared kurutma işlemi ayvalar üzerine farklı bir etki oluşturmuştur. ABTS ve DPPH yöntemleri ile belirlenen antioksidan aktivite değerleri birbirine paralellik göstermiştir.

DPPH ve ABTS yöntemine göre belirlenen antioksidan aktivite değerlerine göre etüvde kurutma işlemi ayvaların antioksidatif içeriğinde bir düşüğe neden olduğu gözlenmiştir. Ayva ürünlerinde kaplama materyallerinin kullanımı antioksidan ve fenolik bileşik özelliklerinde bir gelişme sağlamıştır.

Etüv kurutmada istatistiksel olarak görülen L* ve b* değerindeki azalış, a* değerindeki artış Maillard reaksiyonunun gerçekleşmiş olabileceğinin belirtisidir. L değerinin düşük olması rengin daha koyu olduğunun göstergesidir. Düşük metoksil pektin kaplama işlemi ayvalarda Maillard reaksiyonuna neden olan PPO (polifenol oksidaz) enziminin aktivitesinin azalmasının, polifenollerin, karotenoidlerin ve C vitamininin oksidasyonunu baskılamada pektin kaplamaların etkili olduğunun göstergesidir. Farklı kurutma yöntemlerinin, ayva örneklerinin a* değerini istatistiksel açıdan etkilemediği fakat farklı kaplama malzemesi kullanımının a* değerini istatistiksel açıdan etkilediği tespit edilmiştir (p<0.05). Farklı kaplama malzemesi kullanımının, b* değerini istatistiksel açıdan etkilemediği fakat farklı kurutma yöntemlerinin b* değerini istatistiksel açıdan etkilediği tespit

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında endüstriyel sistemde kullanılmaya devam eden geleneksel kurutma metodlarına alternatif olarak yeni teknolojik uygulamaların kullanılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak meyvelerin kurutulması üzerine infrared kurutma sisteminin geleneksel yöntemlere kıyasla ürün kalitesini artırdığı gözlenmiştir. Infrared teknolojisi, meyve ve sebze işlemede kullanılabilecek yüksek kapasiteli bir yöntemdir.

Kurutma yöntemleri ve uygulanan ultrases ön işlemleri örneklerin nem miktarını etkilemiştir. Meyvelerde sodyum aljinat kullanımı ısıl stabilite sağladığı gibi su salmayı önleme etkisi olduğu görülmektedir. Ultrases ön işlemi ise üründe suyun difüzyonunu artırarak nem miktarını etkilemiştir. Ultrases ön işlemi ile oluşan kavitasyon sebebiyle ayva örneklerinin bağli nemi düşmüştür. Bu durumun su aktivitesini etkilediği düşünülmektedir. Ayvalara uygulanan ön işlemler örneklerin su aktivitesini artırmıştır. Ayva örneklerinin suda çözünen kuru madde değerleri incelendiğinde taze numunenin suda çözünen kuru madde değeri en düşük olup uygulanan işlemler suda çözünen kuru madde değerini artırmıştır. Ayva örneklerinin yağ içeriği en yüksek ultrases ile birlikte düşük metoksil pektin kaplama uygulanıp infrared kurutulan uygulamada bulunmuştur. Düşük metoksil pektin kaplama ile kaplanan ayvaların yağ içeriği daha yüksek bulunmuştur. Kaplama işleminin yağ emilimi üzerinde etkisinden bahsetmek mümkündür. Literatüre bakıldığında aljinat ile yapılan kaplamalarda yağ emiliminin artışına yönelik bilgiler mevcuttur.

Sonuçlar incelendiğinde toplam fenolik bileşik ve antioksidan aktivite değerleri birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir. Ön işlem uygulaması yapılmadan infrared kurutulan ayvaların toplam fenolik bileşik miktarı en yüksek bulunmuştur. Infrared kurutma işlemi örneklerin fenolik bileşiklerini koruduğu söylenebilir. Düşük metoksil pektin kaplama uygulaması örneklerin fenolik bileşik kaybını azaltmıştır. Ayva örneklerinin antioksidan aktivitesi incelendiğinde infrared sistemde kurutulan örneklerin antioksidan kapasitelerinin arttığı gözlenmiştir. Düşük metoksil pektin kaplama uygulaması ayva örneklerinin antioksidatif bileşiklerin yapıda korunmasını sağlamıştır. Etüvde kurutma işlemi ile ayvaların flavanoid bileşiklerinde kayıpların olduğu tespit edilmiştir. Infrared sistemde kurutulan örneklerin flavanoid bileşikleri korunarak ultrases ön işlemi uygulaması yapıldığında

edilmiştir (p<0.05). Düşük metoksil pektin ve sodyum aljinat kaplama uygulamaları ayvanın sarı renginin korunmasını sağlamıştır.

Sertlik (hardness, N) gıda numunesini sıkıştırmak için harcanan maksimum kuvvettir. Ayva örneklerinin sertlik özellikleri tekstür analizi ile incelenmiştir. Ultrases ön işleminin meydana getirdiği etki ayvaların sertlik değeri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmuştur (p<0,05). Ultrases ön işlemi uygulaması yapılarak infrared kurutulan üründe ultrases işleminin ayvaların sertlik değerini etkileyerek bir düşüğe sebep olduğu gözlenmektedir. Ultrases işlemi ayvaların kurutulmasında ürünün fazla sertleşmesini önleyebilen bir ön işlem olduğunun göstergesidir. Düşük metoksil pektin kaplama istatistiksel bir artış sağlamıştır (p<0,05). Sodyum aljinat ve düşük metoksil pektin kaplama uygulanıp infrared kurutulan örneklerin sertlik değeri kaplama materyali uygulamasından kaynaklanmaktadır. Kaplama materyallerinden sodyum aljinat kaplamanın ayvanın tekstürel özelliklerini daha fazla etkilediği söylenebilmektedir.

toplam flavanoid içeriğinde istatistiksel olarak bir artış gözlenmiştir (p<0,05).

Ayvaların kurutulduğu bu çalışmada en fazla su kaybı etüvde kurutulan örneklerde tespit edilmiş ve bu numunelerde en düşük L* değeri gözlenmiştir. Nem değerindeki artış ile L değerindeki düşüş arasında bir ilişki kurulabilir. Infrared kurutma işleminde L değerinde artış meydana gelmiştir. L değerinde görülen artış esmerleşme reaksiyonlarının azaldığının göstergesidir. Bu durum esmerleşme reaksiyonlarına sebep olan polifenol oksidaz enziminin aktivitesinin infrared kurutma ile kurutulan örneklerde düştüğünün belirtisidir. Etüvde kurutulan ayvaların a* değerinde düşüş gözlenmiş olup renkte bir koyulaşma tespit edilmiştir. Infrared kurutma işlemi ile b* değerinde bir artış gözlenmiş olup örneklerde sarı rengin korunduğu tespit edilmiştir. Örneklerin sertlik değerinin etüv ve infrared kurutma yöntemlerinden etkilendiği gözlenmiştir. Etüv kurutmada görülen kurutma süresi artışının, ürün sertlik değeri üzerinde artırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kurutma işleminde daha çok su kaybeden örneklerin sertlik değerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Çalışmalar infrared sistemde kurutma işleminin ayva örneklerinin aşırı sertleşmesini önleyen bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Infrared kurutma uygulanan ayvaların pH değeri, toplam çözünür katı madde, titre edilebilir asitlik, toplam antioksidan aktivite, toplam fenolik içeriği ve toplam flavanoid içeriği sodyum aljinat ve düşük metoksil pektin kaplama materyalleri kullanılarak yenilebilir kaplama uygulamasıyla korunmuştur. Bu araştırma, ultrases ile birlikte düşük metoksil pektin kaplama ve ultrases ile birlikte sodyum aljinat kaplama ön işleminin infrared kurutulmuş ayva üretiminde etkili bir işlem olabileceğini düşündürmektedir. Sonuç olarak, ayva meyvesinin antioksidan aktivite, toplam fenolik bileşik, toplam flavanoid ve tekstürel özelliklerini korumak için sodyum aljinat ve düşük metoksil pektin kaplamaların yenilebilir kaplamalar olarak kullanılabileceği önerilebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmadaki yardım ve desteklerinden dolayı Erciyes Üniversitesi personeline ve yönetimine içtenlikle teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Cemeroglu, B., Yemenicioğlu, A., Özkan, M., 2009. Meyve ve sebzelerin bileşimi. *Meyve sebze işleme teknolojisi Cilt 1. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, Ankara.
- [2] Pico, Y., 2012. Low-intensity ultrasounds. *Chemical Analysis of Food: Techniques and Applications: Techniques and Applications*, 117.
- [3] Özkoç, S.Ö., 2010. Kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı. *Gıda*, 35.3: 211-218.
- [4] Safi, S., Morshed, M., Ravandi, H. S. A. and Ghiachi, M., 2007. Study of electrospinning of sodium alginate, blended solutions of sodium alginate/poly (vinyl alcohol) and sodium alginate/poly (ethylene oxide). *J. of App. Polym. Sci.*; 104, 5, 3245-3255.
- [5] Khin, Mya Mya; Zhou, Weibiao; Perera, Conrad O, 2006. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77.1: 84-95.
- [6] Topdaş EF, Başlar M, Ertugay MF., 2011. “Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultras ses işleminin etkisi”. *Akademik Gıda*, 9(5), 6-10.
- [7] Özeydin, A.G., 2013. Farklı kurutma koşullarının bazı önemli armut çeşitlerinin aroma, fenolik madde ve diğer kalite bileşenleri üzerine etkilerinin araştırılması. PhD Thesis. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Güven, A., 2016. Elma, ayva ve muz meyvelerine uygulanan ozmotik dehidrasyon ön-işleminin bu meyvelerin kalite parametreleri üzerine etkisi ve kinetik modellemesi.
- [9] Cemeroglu, B., 1992. Meyve ve Sebze İşleme Endüstrisinde Temel Analiz Metotları. Biltav Yayınları, Ankara. 381 s.
- [10] Yokuş, B., 2014. Farklı ön işlemlerin ve uygulanan farklı kurutma yöntemlerinin elmada toplam fenol miktarı ve antioksidan aktivite üzerine etkileri, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Bilecik.
- [11] Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F., 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *Food Science and Technology*, (65): 637-644.
- [12] Koiwai, H., & Masuzawa, N., 2007. Extraction of catechins from green tea using ultrasound. *Japanese Journal of Applied Physics*, 46(7S), 4936.
- [13] Vilkh, K., Mawson, R., Simons, L., & Bates, D., 2008. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry-A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2), 161-169.



Evaluation of the Anticoagulant Effect of Phenolic Extracts of Two Olive Mill By-products: Olive Mill Wastewater and Olive Mill Pomace

Zakia Gueboudji^{1*}, Kenza Kadi² & Kamel Nagaz³

^{1*} Biotechnology, Water, Environment and Health Laboratory, Abbes Laghrour University, Faculty of Nature and Life Sciences, Department of Molecular and Cellular Biology, Khenchela, Algeria, gueboudji.zakia@gmail.com

² Biotechnology, Water, Environment and Health Laboratory, Abbes Laghrour University, Faculty of Nature and Life Sciences, Department of Molecular and Cellular Biology, Khenchela, Algeria, kadikenza79@gmail.com

³ Drylands and Oases Cropping Laboratory, IRA, Medenine, Tunisia, kamelnagaz@yahoo.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005114)

ATIF/REFERENCE: Gueboudji, Z., Kadi, K. & Nagaz, K. (2021). Evaluation of the Anticoagulant Effect of Phenolic Extracts of Two Olive Mill By-products: Olive Mill Wastewater and Olive Mill Pomace. *European Journal of Science and Technology*, (28), 826-830.

Abstract

In the Mediterranean basin, olive oil production represents an important economic sector for some countries. Currently, production is constantly growing and is done at the expense of the environment. In addition to its main product, which is virgin olive oil, it generates two by-products, olive mill pomace (OMP) and olive mill wastewater (OMW). These by-products have heretofore little economic value despite their large constitutions of polyphenols that are of great importance in the pharmaceutical industry. This study aimed to assess the anticoagulant effect of the phenolic extract of OMP and OMW from cold extraction in the region of Khenchela, northeastern Algeria. This activity was chosen for its essential role in the prevention and treatment of cardiovascular diseases and their serious complications, which threaten public health and constitute the leading cause of death worldwide. The extraction of the polyphenols was done by the maceration method. The content of total polyphenols was estimated by the Folin-Ciocalteu method. The amount of flavonoids was determined by the aluminum chloride method. The anticoagulant activity of the polyphenols was evaluated in vitro using the Kaolin-cephalin coagulation time (KCT) and prothrombin time (PT) tests. The coagulation times obtained in normal plasma in the presence of these polyphenols indicated that they exert a great anticoagulant activity. It was very highly significant on both endogenous and exogenous coagulation pathways for OMW extracts and significant for OMP extracts. This activity was observed more for the endogenous pathway of coagulation than the exogenous pathway. In conclusion, the polyphenols of olive oil pomace and olive mill wastewater can be used in the pharmaceutical field as an anticoagulant against the complications of thrombotic diseases.

Keywords: Olive mill by-products, Anticoagulant effect, Phenolic extract, Olive mill wastewater, Olive mill pomace, Polyphenols.

İki Zeytin Değirmeni Yan Ürününün Fenolik Ekstraktlarının Antikoagülan Etkisinin Değerlendirilmesi: Zeytin Değirmeni Atıksu ve Zeytin Değirmeni Pirina

Öz

Akdeniz havzasında zeytinyağı üretimi bazı ülkeler için önemli bir ekonomik sektörü temsil etmektedir. Şu anda üretim sürekli büyüyor ve çevre pahasına yapılıyor. Ana ürünü olan sızma zeytinyağına ek olarak, zeytin değirmeni pirina (OMP) ve zeytin değirmeni atıksu (OMW) olmak üzere iki yan ürün üretmektedir. Bu yan ürünler, farmasötik endüstrisinde büyük önem taşıyan geniş polifenol yapılarına rağmen şimdiye kadar çok az ekonomik değere sahiptir. Bu çalışma, kuzeydoğu Cezayir, Khenchela bölgesinde soğuk ekstraksiyondan OMP ve OMW'nin fenolik ekstraktının antikoagülan etkisini değerlendirmeyi amaçladı. Bu aktivite, halk sağlığını tehdit eden ve dünya çapında önde gelen ölüm nedenini oluşturan kardiyovasküler hastalıkların ve bunların ciddi komplikasyonlarının önlenmesi ve tedavisindeki önemli rolü nedeniyle seçilmiştir. Polifenollerin ekstraksiyonu maserasyon yöntemi ile yapılmıştır. Toplam poli fenollerin içeriği Folin-Ciocalteu yöntemiyle tahmin edildi. Flavonoidlerin miktarı alüminyum klorür yöntemiyle belirlendi. Polifenollerin antikoagülan aktivitesi, Kaolin-sefalin pıhtılaşma Süresi (KCT) ve protrombin zamanı (PT) testleri kullanılarak in vitro olarak değerlendirildi. Bu polifenollerin varlığında normal plazmada elde edilen pıhtılaşma süreleri, bunların büyük bir antikoagülan aktivite sergilediklerini gösterdi. OMW özlüleri için hem endojen hem de eksojen pıhtılaşma yollarında çok yüksek derecede anlamlıydı ve OMP özlüleri için önemliydi. Bu aktivite, eksojen yoldan daha çok endojen pıhtılaşma yolu için gözlemlendi. Sonuç olarak, zeytinyağı pirina ve

* Corresponding Author: gueboudji.zakia@gmail.com

zeytin değirmeni atıksuyunun polifenollerini, farmasötik alanda trombotik hastalıkların komplikasyonlarına karşı antikoagülan olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Zeytin değirmeni yan ürünleri, Antikoagülan etki, Fenolik ekstrakt, Zeytin değirmeni atıksu, Zeytin değirmeni pirina, Polifenoller.

1. Introduction

Olive oil production is an important economic sector for various nations in the Mediterranean region, including Algeria (Gueboudji et al., 2021b). Due to its organoleptic and healthful characteristics, the use of olive oil has significantly increased in recent years. Consequently, the amount of wastes and by-products generated by olive production and the olive oil industry has risen, creating substantial environmental and economic difficulties. However, due to the high amount of bioactive compounds in these wastes and by-products, their recovery represents both a significant problem and an attractive potential for the olive oil industry (Gullón et al., 2020).

Now, productivity is continually increasing at the expense of the environment. In addition to its principal product, virgin olive oil, it generates two by-products: olive mill pomace (OMP), a solid waste, and vegetable waters or olive mill wastewater (OMW), a liquid waste (Roussas et al., 2009; Gueboudji et al., 2021b). Despite their high concentrations of polyphenols, which are important in the pharmaceutical sector, these by-products have had little commercial value in the previous (De Leonardi et al., 2007; Gueboudji et al., 2021a). All plants contain phenolic compounds, although their qualitative and quantitative distribution varies among species, organs, tissues, and physiological phases, as it does with other secondary metabolites. They have many chemical structures and are a testament to plants' remarkable biosynthetic potential, which allows humans to employ them in sectors as diverse as food processing and pharmaceuticals (Macheix et al., 2006).

Blood clotting disorders, such as pulmonary emboli, deep vein thrombosis, and cardiovascular disease, are important causes of mortality and disability globally (WHO, 2017). Thrombotic diseases have a significant impact on world health, since they are the main cause of death and morbidity (Wendelboe et al., 2016). Although their shown efficacy, current antithrombotic medicines, or anticoagulants, have a number of disadvantages. Warfarin-based therapy has several drawbacks, including the necessity for regular monitoring of the medication plasma concentration, an indirect action mechanism that influences a number of coagulation factors, and a significant risk of bleeding (Yeh et al., 2015). Anticoagulant treatment is utilized to treat the disorder, and three types of anticoagulants are often employed: vitamin K antagonists (e.g., warfarin), unfractionated heparin, and low-molecular weight heparins. However, because they are multi-targeted, most of these medications have disadvantages such as an increased risk of bleeding and the need for ongoing laboratory testing (Ibrahim et al., 2020).

This study aimed to assess in vitro the anticoagulant effect of the phenolic extract of OMP and OMW from cold extraction in the region of Khenchela, northeastern Algeria. This activity was chosen for their essential role in the prevention and treatment of cardiovascular diseases and its serious complications, which threaten public health, and constitute the leading cause of death worldwide.

2. Material and Method

2.1. Vegetable Material

OMW and OMP samples were obtained from a modern olive oil mill with a cold extraction system (temperature not exceeding 25 °C) situated in Baghai Wilaya of Khenchela, northeastern Algeria. It is an olive mill that was made in Italy in 2016. The OMW and OMP samples were taken in January 2019 during the harvest season. OMW was collected in plastic bottles and stored at -4 °C until use. OMP is first air-dried, then crushed and split into 50 g fractions in plastic bags. These bags are kept frozen at -4 °C until they are needed. In this study, all analyses were performed in triplicate.

2.2. Blood Samples

Blood samples were taken at the central laboratory of Ahmed Ben Bella Hospital in Khenchela, Algeria. The blood is obtained on either citric acid dextrose (ACD) or heparin.

2.3. Extraction and quantification of phenolic compounds

2.3.1. Polyphenol Extraction Method

It was performed using the method described by Uysal et al. (2019), with some modifications. OMW and OMP drying were carried out prior to extracting the phenolic components. The maceration technique was used to extract phenolic compounds. It is obtained by adding 100 mL of a polar organic solvent, methanol, to the delipidated extract. Filtration using filter paper is carried out after 10 minutes of stirring. The resulting phenolic extract is separated from the solvent by rotational evaporation under vacuum at 40 °C and kept in 2 mL of DMSO. This dry extract is collected and kept in closed dark tubes in the refrigerator at -18 °C until it is used. Extraction was done in triplicate.

2.3.2. Total Phenolic Content (TPC)

The total phenolic content was measured using the Folin-Ciocalteu technique described by Siangu et al. (2019) with slight modification. 200 µL of diluted plant extract is mixed with 1 mL of Folin Ciocalteu reagent (FCR) diluted 10 times in distilled water. After 4 minutes, 800 µL of sodium carbonate (Na₂CO₃) at a concentration of 7.5 g/L are added. After incubating the reaction mixture for 2 hours at room temperature and in the dark, the absorbance is measured at 765 nm. The calibration curve is carried out with gallic acid at different concentrations, under the same conditions and the same steps of the assay. The total phenolic content (TPC) of extracts was calculated using a calibration curve ($y = 0.0049x + 0.011$, $R^2 = 0.98$). The results were given in grams of Gallic acid equivalents per 100 grams of dry matter (g GAE /100 g DM).

2.3.3. Total Flavonoid Content (TFC)

It was estimated using the methodology given by Siangu et al. (2019) with minor changes. The determination of the total flavonoid content is carried out by the aluminum chloride (AlCl₃) method. Briefly, one milliliter of extract diluted in methanol, as well as the standard flavonoid quercetin also prepared in methanol is added to 1 mL of AlCl₃ (2% methanolic solution). After 10 minutes of reaction, the absorbance is read at 430 nm. The calibration curve is carried out with quercetin at different

concentrations, under the same conditions and the same steps of the assay. The total flavonoid content (TFC) was determined using the quercetin calibration curve ($y = 0.011x + 0.0073$, $R^2 = 0.97$). The findings were measured in grams of quercetin equivalents per 100 grams of dry matter (g QE/100 g DM).

2.4. Anticoagulant Activity

The anticoagulant activity was evaluated *in vitro* against the two coagulation pathways (the endogenous pathway and the exogenous pathway) on a pool of normal-depleted plasmas and using two global time-series tests; the Kaolin-cephalin coagulation time (KCT) and the prothrombin time (PT).

The platelet-poor plasma pool is a mixture of plasmas depleted from 10 young adults as healthy untreated volunteers, whose KCT and PT are normal and comparable. The blood of each volunteer is taken by venipuncture in a plastic tube on an anticoagulant solution of sodium citrate at 3.2% and at a rate of 1 volume for 9 volumes of blood (1: 9, v / v). The blood is then centrifuged for 10 minutes at 3000 rpm to obtain a plasma poor in platelets. The standard plasma obtained is stored at low temperature ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) until use (Athukorala, et al., 2007; Liang et al., 2018).

2.4.1. Prothrombin Time Test (PT)

It was determined according to the method described by Liang et al. (2018) with slight modification. The coagulation time of citrated plasma in the presence of an excess of calcium thromboplastin is measured in this activity using platelet-poor plasma in the presence of calcium thromboplastin. The phenol extract (90 μL and 10 μL , respectively) was combined with 100 μL of platelet-poor plasma that had been warmed for 2 minutes at $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. After 15 minutes of incubation at $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 μL of calcium thromboplastin was added to the mixture, which had been warmed for at least 15 minutes at $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Coagulation time was determined by an automatic coagulation analysis system (CoaData 4004).

2.4.2. Kaolin-Cephalin Coagulation Time Test (KCT)

It was determined according to the method described by Liang et al. (2018) with slight modification. The activity of the phenolic extract was established on a volume of 100 μL whose plasma is 90 μL was mixed with 10 μL of extract. After 15 min of incubation at $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 100 μL cephalin kaolin was added to the mixture, which was re-incubated for 3 min with agitation at $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Using a coagulometer, the coagulation time was measured by adding 100 μL of warmed calcium chloride (0.025 M). In parallel, positive control of unfractionated heparin and a negative control test (substitution of the samples with a 0.9% NaCl solution) was performed under identical circumstances.

An increase in KCT in the presence of polyphenols compared to the negative control implies an anticoagulant impact at this route level. Clotting time was determined by an automatic coagulation analysis system (Coa DATA 4004).

2.5. Statistical Study

Data obtained were presented as (mean \pm standard) deviation of three dependent determinations. Significant differences between means of total phenolic and total flavonoids results were determined by the Student t-test, and p values (< 0.05) were regarded as significant. Results of anticoagulant activity were subjected to statistical analysis of variance (ANOVA) using

ECXEL STAT (version 2014) package at $p < 0.05$ significant levels.

3. Results and Discussion

3.1. Total phenolic and flavonoid contents

Figure 1 showed the total phenolic and flavonoids contents of the extracts of olive oil mill wastewater (OMW) and olive oil mill pomace (OMP).

Based on the total polyphenol and flavonoid contents data shown in Figure 1, it appears that the two extracts of OMW and OMP are high in polyphenol and flavonoid contents.

Indeed, the polyphenol concentrations of OMW and OMP are of the order of (TPC = 8.86 ± 0.1 g GAE/100g DM) and (TPC = 1.04 ± 0.08 g GAE/100g DM), respectively.

In terms of flavonoid content, it appears that OMW has a higher value (TFC = 1.32 ± 0.25 g QE/100g DM) than OMP, which has a value of (TFC = 0.17 ± 0.01 g QE/100g DM). For OMW and OMP, the flavonoids / polyphenols ratio is in the range of 14.90% and 16.35%, respectively. According to these findings, the variance of flavonoids is not proportional to that of polyphenols; this may be explained by the predominance of non-flavonoid polyphenols.

According to the data, OMW and OMP are characterized by the richness of phenolic compounds. The results obtained were superior to those obtained by (Gueboudji et al., 2021a).

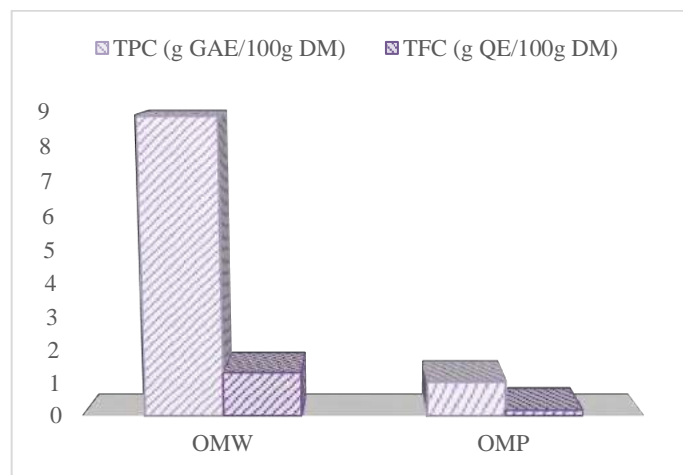


Figure 1. Total phenolic and flavonoid contents of OMW and OMP

3.2. Anticoagulant Activity

3.2.1. Prothrombin Time Test (PT)

The results obtained for the prothrombin test of olive mill wastewater (OMW), olive mill pomace (OMP) and the negative control (C-) were illustrated in Figure 2. A normal PT is between 12 and 14 seconds depending on the reagents used (Caquet, 2011). The incubation time factor of the two phenolic extracts of OMW and OMP examined with plasma is evaluated to identify the best incubation time that allows for strong anticoagulant action. The results showed that the incubation period of phenolic extracts with plasma had a substantial ($P < 0.05$) impact on their anticoagulant power (Figure 2). Indeed, the incubation of the negative control during the different times (5, 10, 15 and 20 minutes) does not influence the coagulation time, whereas in the presence of olive

extracts the prolongation of the PT is remarkable and time-dependent.

The incubation for 20 minutes is the time that made it possible to obtain a significant anticoagulant activity ($p < 0.05$) and higher than that of the incubation at 5 and at 10 minutes and very close to that induced by the different extracts when incubating at 15 minutes, which may explain by far the choice of 15 minutes as a standard incubation time in performing the PT test for the investigation of the anticoagulant properties of different biological and synthetic substances for therapeutic use.

In the incubation time of 15 minutes, there was an elongation of PT of the order of (82.2 ± 0.28 s) (6 times high) and (43.1 ± 0.16 s) (3 times high) by comparing to that of the negative control (13.5 ± 0.02 s) in the presence of phenolic extracts of OMW and OMP, respectively.

The phenolic extract of OMW exhibits the highest anticoagulant activity compared to that of OMP regardless of the incubation time (5, 10, 15, and 20 minutes). The results obtained were comparable to those found by Kadi et al. (2020).

As a result, the extract examined exhibits high anticoagulant action in the exogenous route. Heparin's anticoagulant action is caused by the inhibition of natural coagulation enzymes through the formation of a complex with anti-thrombin III. Because thromboplastin time is a coagulation test that investigates all of the coagulation factors in the exogenous route, the anticoagulant action of the OMW extract is most likely related to the inhibition of one of these factors that are activated in cascade (Tomaru et al., 2005; Liang et al., 2018).

From this study, it is assumed that the anticoagulant activity of the phenolic extracts of OMW and OMP may be due to the synergistic effect of the different classes of polyphenols, and other compounds present in these extracts.

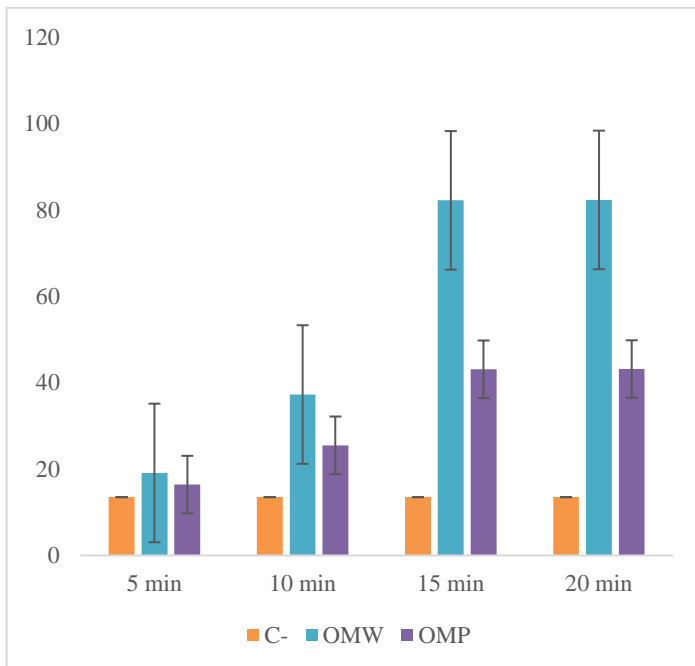


Figure 2. Effect of incubation time of phenolic extracts of OMW and OMP with plasma on PT

3.2.2. Kaolin-Cephalin Coagulation Time Test (KCT)

Figure 3 represented the kaolin partial thromboplastin (KCT) times of the phenolic extracts of OMW and OMP compared to the negative control (C-) and the positive control (C+). A longer clotting time compared to the negative control where the sample is replaced by physiological water reflects the anticoagulant activity of the material tested. The heparin that was used as a reference in this test, to compare its anticoagulant capacity to that exerted by the phenolic extracts OMW and OMP, is low molecular weight heparin (LMWH) in the form of a ready-to-use solution for injection characterized by high anti-Xa activity and low anti-IIa or antithrombin activity (Fraxiparine® Nadroparin calcium 2850 anti-Xa IU / mL).

In the light of the results obtained, it appeared that the two extracts are able to significantly lengthen the coagulation time ($P < 0.05$) with values of the order of (185.4 ± 2.42 s) for the extract of OMW and (70.3 ± 1.77 s) for the extract of OMP, compared to that of the negative control (25.1 ± 0.51 s). The prolongation of the coagulation time induced by the two extracts made OMW extract the first to have the greatest anti-coagulant activity than the second OMP extract by a minimum difference of (115.1 ± 0.65 s).

OMW and OMP extracts had a less anticoagulant effect than that of heparin (positive control) whose coagulation time was (277.6 ± 2.85 s); thus, it caused a lengthening of the KCT of the order of (252.5 ± 2.34 s) compared to the negative control. Therefore, in order to have effective anticoagulant activity, it is probably necessary for the polyphenols of OMW and OMP to act synergistically with each other and/or with other compounds present in its extracts.

Statistical analysis showed the existence of a linear relationship between anticoagulant activity and the different concentrations of the extracts. Therefore, it appears that the two phenolic extracts of OMW and OMP were able to significantly ($P < 0.05$) extend the KCT. The results obtained were comparable to those found in Kadi et al. (2020).

As a result, the phenolic extracts of OMW and OMP examined exhibited high anticoagulant action in terms of the endogenous route.

Consequently, the anticoagulant effect of phenolic extracts from olive oil mill wastewater and olive oil mill pomace might be related to the total content of polyphenols and flavonoids, when flavonoids/polyphenols ratio was low when the anticoagulant effect was high.

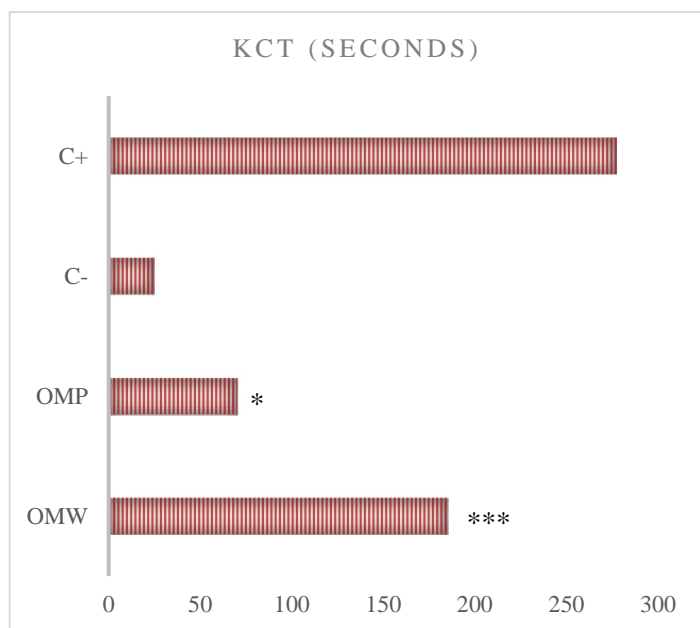


Figure 3. Kaolin partial thromboplastin time (KCT) of phenolic extracts of OMW, OMP, and heparin

4. Conclusions and Recommendations

This study evaluated the anticoagulant effect of the phenolic extracts of OMW and OMP. The study of the effect of the two extracts on the two coagulation pathways (endogenous pathway and exogenous pathway) made it possible to establish that the two extracts exert an anticoagulant effect on the two coagulation pathways with a more marked effect on the endogenous route than exogenous route and more important for OMW than for OMP. In conclusion, this study needing more tests in vivo to might said the polyphenols of olive oil pomace and olive mill wastewater could be used in the pharmaceutical sector as an anticoagulant against the complications of thrombotic diseases.

5. Acknowledge

The authors thank the central laboratory of Ahmed Ben Bella Hospital Khenchela, Algeria, for their technical and support assistance.

References

Athukorala, Y., Lee, K. W., Kim, S. K., & Jeon, Y. J. (2007). Anticoagulant activity of marine green and brown algae collected from Jeju Island in Korea. *Bioresource technology*, 98(9), 1711-1716.

Caquet, R. (2011). *250 examens de laboratoire: prescription et interprétation*. Elsevier Masson.

De Leonardis, A., Macciola, V., Lembo, G., Aretini, A., & Nag, A. (2007). Studies on oxidative stabilisation of lard by natural antioxidants recovered from olive-oil mill wastewater. *Food Chemistry*, 100(3), 998-1004.

Gueboudji, Z., Bagues, M., Kadi, K., Nagaz, K., Addad, D. (2021b). Effect of storage time on the biodegradability of olive oil mill wastewater from the cold extraction of olive oil system. *The EuroBiotech Journal*, 5(3): 142-154. <https://doi/10.2478/ebtj-2021-0023>

Gueboudji, Z., Kadi, K., Nagaz, K. (2021a). Extraction and Quantification of Polyphenols of Olive Oil Mill Wastewater

from the Cold Extraction of Olive Oil in the Region of Khenchela-Algeria. *Genetics and Biodiversity Journal*. 116-122. <http://ojs.univ-tlemcen.dz/index.php/GABJ>

Gullón, P., Gullón, B., Astray, G., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Prieto, M.A., Simal-Gandara, J. (2020). Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods. *Food Research International*, Volume 137, 109683, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109683>.

Ibrahim, R. S., Mahrous, R. S., Fathy, H. M., Omar, A. A., & EL-Khair, R. M. A. (2020). Anticoagulant activity screening of an in-house database of natural compounds for discovering novel selective factor Xa inhibitors; a combined in silico and in vitro approach. *Medicinal Chemistry Research*, 29(4), 707-726. <https://doi.org/10.1007/s00044-020-02516-5>

Kadi, K., Mrah, R., Hamli, S., Lekmine, S., Dib, D., Addad, D., Boukeria, S., Gueboudji, Z., Hafsaoui, I. (2020). Evaluation of the anticoagulant activity of margins from olives extraction in the Khenchela region. *Journal of Fundamental & Applied Science*, 12 (2), 634-649. <https://doi/10.4314/jfas.v12i2.8>

Liang, L., Ao, L., Ma, T., Ni, Y., Liao, X., Hu, X., & Song, Y. (2018). Sulfated modification and anticoagulant activity of pumpkin (Cucurbita pepo, Lady Godiva) polysaccharide. *International journal of biological macromolecules*, 106, 447-455.

Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Sarni-Manchado, P. (2006). Composés phénoliques dans la plante-Structure, biosynthèse, répartition et rôles. *Les polyphénols en agroalimentaire. Coordonnatrices Sarni-Manchado P et Cheynier V, TEC et DOC.(Eds), Lavoisier, Paris*, 390-399.

Roussas, S., Perraud-Gaime, I., Lakhtar, H., Aouidi, F., Labrousse, Y., Belkacem, N., ... & Artaud, J. (2009). Valorisation biotechnologique des sous produits de l'olivier par fermentation en milieu solide. *Olivebioteq*, 26, 52-59.

Siangu, B. N., Sauda, S., John, M. K., & Njue, W. M. (2019). Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of selected Kenyan medicinal plants, sea algae and medicinal wild mushrooms. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 13(3), 43-48. <https://doi.org/10.5897/AJPAC2018.0775>

Tomaru, T., Kawano, H. A., Tsujiuchi, Y., Suzuki, J. I., Nakajima, T., & Uchida, Y. (2005). Mechanism of antithrombotic effect of heparin and antithrombin in balloon-injured arteries. *Life sciences*, 77(21), 2611-2625. <https://doi/10.1016/j.lfs.2004.10.084>

Uysal, S., Cvetanović, A., Zengin, G., Zeković, Z., Mahomoodally, M. F., & Bera, O. (2019). Optimization of maceration conditions for improving the extraction of phenolic compounds and antioxidant effects of Momordica charantia L. leaves through response surface methodology (RSM) and artificial neural networks (ANNs). *Analytical Letters*, 52(13), 2150-2163.

Wendelboe, A. M., & Raskob, G. E. (2016). Global burden of thrombosis: epidemiologic aspects. *Circulation research*, 118(9), 1340-1347.

Yeh, C. H., Hogg, K., & Weitz, J. I. (2015). Overview of the new oral anticoagulants: opportunities and challenges. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 35(5), 1056-1065.



Strength and Dilation Behaviour of a Reconstituted Sand-Shell Mixture

Suleiman Khatrush^{1*}

^{1*} Istanbul Gelisim University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5586-0233), sasmohamed@gelisim.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011158)

ATIF/REFERENCE: Khatrush, S. (2021). Strength and Dilation Behaviour of a Reconstituted Sand-Shell Mixture. *European Journal of Science and Technology*, (28), 831-836.

Abstract

Calcareous sand usually composed of particles of carbonite origin of relatively weak structure, high void ratio and low grain strength. These sands show different strength and dilation behaviour than quartzite sands due to the existence of calcareous material. Several locations on the Libyan coasts are containing calcareous sands or sands with considerable amount of calcareous material such as broken shells or shell fragments. The present study is concerning in investigating the effect of the amount and the size of the calcareous material on the shear strength behaviour of sand shell mixtures. Samples were obtained from a coastal site near the city of Benghazi. The sand shell mixtures were prepared at practically similar unit weight and at a dense state. Two series of tests were performed in direct shear box of 100x100 mm on reconstituted samples of dry sand, the first was mixed with proportions of 20,40 and 60 % of broken shells by weight of material, and the second was mixed with only 20% of shell sizes ranging from 0.85 mm to 4.75 mm. The results indicated generally increasing of the peak angle of shearing resistance (ϕ_p) and reduction of dilation response of sand with increasing the amount and size of shell material. Furthermore, larger compression with increasing content and size of shell material is also observed due to the crushing of shell material during shearing.

Keywords: Sand; Calcareous material; Shear strength; Dilation; Direct shear.

Sulandırılmış Kum Kabuk Karışımının Mukavemet ve Genleşme Davranışı

Öz

Genellikle nispeten küçük yapılı, yüksek boşluk oranına ve düşük tane mukavemetine sahip karbonit kökenli parçacıklardan oluşan kalkerli kum. Bu kumlar, kalkerli malzemenin varlığı nedeniyle kuvarsit kumlarından farklı mukavemet ve genleşme davranışı göstermektedir. Libya kıyılarındaki çeşitli konumlar, kırık kabuklar veya kabuk parçaları gibi önemli miktarda kalkerli malzeme içeren kalkerli kumlar veya kumlar içermektedir. Bu çalışma, kalkerli malzeme miktarının ve boyutunun kum kabuk karışımlarının kesme mukavemeti davranışı üzerindeki etkisini araştırmakla ilgilidir. Bingazi kenti yakınlarındaki bir kıyı bölgesinden örnekler alındı. Kum kabuk karışımları, pratik olarak benzer birim ağırlıkta ve yoğun halde hazırlanmıştır. Yeniden yapılandırılmış kuru kum numuneleri üzerinde 100x100 mm'lik doğrudan kesme kutusunda iki seri test yapıldı, ilki malzeme ağırlığına göre %20,40 ve %60 oranında kırık kabuk ile karıştırıldı ve ikincisi sadece %20 ile karıştırıldı. 0,85 mm ile 4,75 mm arasında değişen kabuk boyutları. Sonuçlar, kabuk malzemesinin miktarı ve boyutunun artmasıyla genel olarak kesme direncinin tepe açısının (ϕ_p) arttığını ve kumun genleşme tepkisinin azaldığını göstermiştir. Ayrıca, kesme sırasında kabuk malzemesinin ezilmesi nedeniyle, artan kabuk malzemesi içeriği ve boyutu ile daha büyük sıkıştırma da gözlenir.

Anahtar Kelimeler: Kum; Kalkerli malzeme; kesme mukavemeti; dilatasyon; Doğrudan kesme.

* Corresponding Author: sasmohamed@gelisim.edu.tr

1. Introduction

Calcareous sands or sands with a considerable content of calcareous materials and when its grains are of carbonate origin exhibit different behaviour than silica sands [1, 2, 3]. It is usually having a weaker structure, high void ratios and lower grain rigidity which make it susceptible to crushing during compression and shearing and even under relatively low pressures [4, 5, 6]. The crushing of particles may cause a reduction of shearing resistance [4, 6]. On the other hand, oversized particles generally larger than the normal grading of the sand is expected to increase strength due to increasing particle interlocking during shear. [7, 8]. The existence of calcareous material within the sand has a significant effect on the estimation of parameters required for foundation design in such soils, especially frictional resistance of pile foundations and the interpretation of insitu test results such as standard penetration SPT and cone penetration CPT. The investigation of the behaviour of calcareous sands has received more attention in recent years [9, 10, 11]. Sands contains a considerable amount of calcareous material such as shell fragments of various sizes was found at Garyounis area near the south west coast of Benghazi city. The shell content is relatively fragile and easy to break with little effort. It is thought that such material could have a distinct effect on the engineering behaviour of sand. Therefore, it is aimed in this study to investigate the behaviour of a reconstituted sand-shell mixtures using different percentage of shell content and shell sizes and observing the effect on strength and dilation.

2. Material and Method

Samples of natural sand composed of calcareous materials and shell fragments were extracted from depths between 2 to 7 m, at Garyounis area near Benghazi south west coast (Figure 1.), the samples contain variable sizes of shell fragments and the calcareous content of the samples are variable with depth. A Clean uniform beach sand free from calcareous material (Denoted here as 0%) also obtained from the ground surface of the same area. The grain size distribution of a typical calcareous natural sand (Ns) and a clean beach sand is shown in Figure 2. The shells were obtained by separating them from a batch of natural sands and sizes larger than 4.75mm were excluded to facilitate testing in small size shear box, whereas the rest were prepared by sieving to several desired sizes for mixing with the clean sand to provide a sand-shell mixtures required for the testing program. The first series of Sand - shell mixtures were prepared using a broken shell size of (0.85 - 2.0 mm) with 20%,40% and 60% shell content by weight of the material. The second series were prepared with only 20% shell content and with the sizes; (0.85-1.18mm) , (1.18-2.0mm) and (2.0-4.75mm).

A series of direct shear tests were conducted on samples of natural calcareous sand, clean sand and sand- shell mixtures. A shear box of dimensions 100x100 mm is used throughout the testing program. For all testing samples an effort was made to keep the material unit weight of a convergent value and in a dense state, this was a difficult task, however it was achieved by taking a constant mass of the material and placed in the shear box in three layers tamping each layer by a fixed number of blows using a wooden tamper and rubber hammer until reaching the specified height of 50 mm every time. The resulting unit weight by this

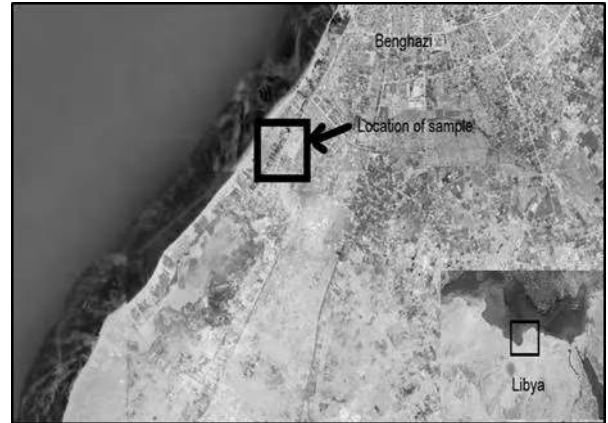


Figure 1. Location of samples collected (Benghazi, Libya, south west coast) coordinate (23,02,30N-20,01,23E)

method were kept within a range between 15 and 15.5 kN/m³. Three normal pressures 50,100 & 200 kPa were applied in every test before shearing. All the tested samples were sheared at a constant strain rate of 0.24 mm/minute and measurements of shear force, vertical and horizontal displacement were recorded at convenient intervals.

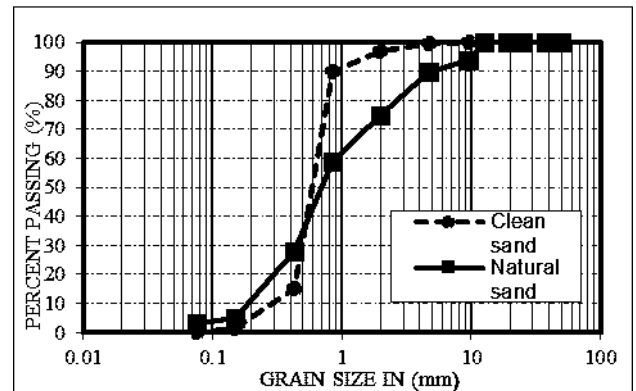


Figure 2. Particle size distribution for clean sand and calcareous sand.

3. Results

3.1. Shear Strength

The test on a clean beach sand sample is considered as a base reference to observe any subsequent effect triggered by the existence of the fraction and size of broken shells. Fig. 3 shows the resulting shear stress and vertical displacement against horizontal displacement for a tested sample of clean beach sand and a typical sample of natural calcareous sand tested after excluding larger shell sizes exceeding 4.75 mm. The results shown in Figure 3. indicate higher peak strength values for calcareous sand compared with that for a clean sand shown in Figure 3. The behaviour, however, illustrates the significant contribution of calcareous material in the development of larger interlocking and hence, increases the frictional resistance at the shearing surface of the sample.

The dilative behaviour beginning with small compression increased with higher normal pressures, the calcareous sand sample is exhibiting larger compression before dilation compared with what happened in case of clean sand which referred to the

susceptibility of calcareous material to be compressed and crush during shearing especially at higher normal stresses.

The peak shear stress is plotted against the normal pressure in Figure 4, The peak friction angle obtained for clean sand (0%) and natural calcareous sand (NS) were (35.2o) and (41.1o) respectively.

3.2. Effect of shell content

The effect of shell content was considered by testing samples of sand-shell mixtures with different percentages by weight of 20%,40%, and 60%, keeping one size of broken shells (0.85-1.18mm) in every test. The relationship between the peak shear stress and normal stress (i.e. Failure envelope) is plotted in Figure 5. for all proportions of shell contents together with that for clean sand. The slope of the approximated straight line however is representing the peak angle of shearing resistance (ϕ_p). It can be seen that the peak resistance for samples with shell contents 40% and 60% is higher than that for clean sand while show lower strength for samples with shell content of 20%. This is because the shell fraction of 20% is comparatively small and with size range nearly matching the clean sand average particles size but of weaker particle strength.

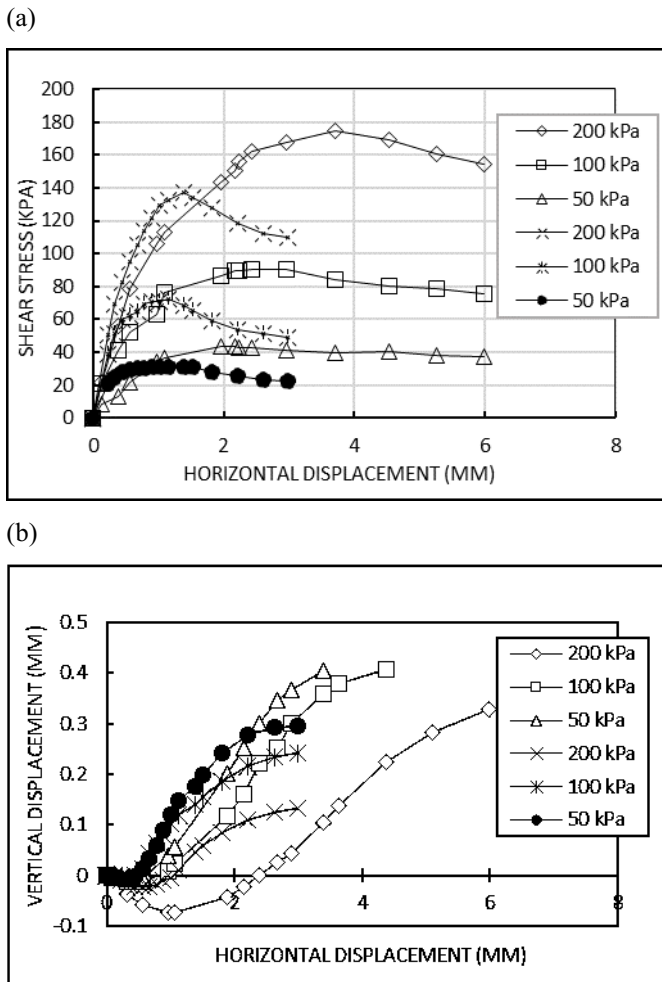


Figure 3. Test results on clean beach sand and natural calcareous sample (a) shear stress (b) vertical displacement

This obviously not expected to contribute in developing the shearing resistance, however, it was reported, elsewhere that 10% of shell content has no effect on shear strength [4]. Nonetheless, the value of (ϕ_p) is not increased when shell content exceeding

40%, this is may be attributed to the interlocking resistance of the mixture is reaches a threshold value so that any further increase on shell content would have no effect on strength. The percentage of shell content above such limit could possibly provide larger mass of weak shell particles subjected to crushing during shear. The particle breakage causes more abrasion which led to less asperities of the sand particles, less interlocking and more particle arrangement and rotation [6].

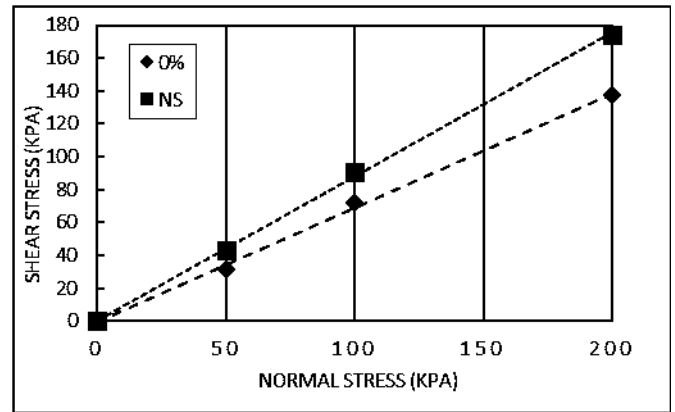


Figure 4. Failure envelope for clean sand (0%) and natural calcareous sand (Ns)

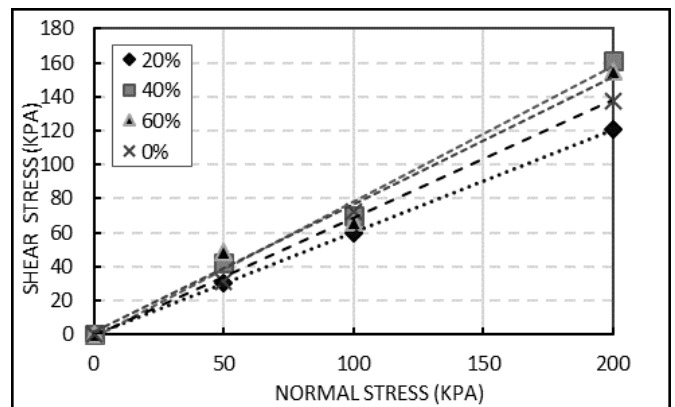


Figure 5. Effect of percentage of shells on the failure envelope

3.3. Effect of shell size

The effect of shell size is investigated using a mixture containing only 20% shell content with three different size ranges (0.85-1.18mm), (1.18-2.0mm) and (2.0-4.75). The results of peak shear stress against the normal stress is (i.e. Failure envelope) shown in Figure 6, in which the Slope is representing the peak angle of shearing resistance (ϕ_p) is generally getting higher with increasing size range, however when comparing with that of clean sand the peak shearing resistance of size range (0.85-1.18mm), it is of lower peak strength than that of clean sand. This results indicate the significant effect of the size of shell content exist in the mixture provided their size range is larger than the average size of the clean sand medium. The larger sizes can significantly increase the particle interlocking during shearing despite the relative weakness of shell material. However, for calcareous sand the increase in the particle size leads to the growth of shear strength properties [8] and similarly, the existence of oversize

particles within the sand and large average grading of sand tend to develop the shearing resistance [4,6].

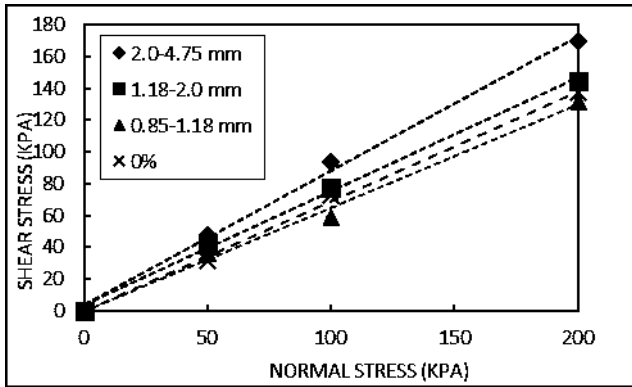


Figure 6. Effect Size range of shells on the failure envelope

3.4. Dilation

The dilation behaviour of the tested materials is represented by the maximum angle of dilation ψ_{max} which can be taken as the rate of change of vertical displacement (v) with the horizontal displacement (h) of the tested sample as;

$$\tan \psi_{max} = dv/dh \quad (1)$$

The plots of the maximum angle of dilation against the applied normal pressure are shown in Figure 7. a, b & c. The Trend is generally similar, hence the value of ψ_{max} is generally decreasing with increasing of normal pressure. Furthermore, it is seen that the values of ψ_{max} for clean sand is mostly higher than that of natural calcareous sand and sand-shell mixture despite the amount of shell content and size indicate that sands with weak structure or fragile grains exhibits low dilation. The angle ψ_{max} , however is approaching closer values for most of test results at normal pressure of 200 kPa.

4. Discussion

The results presented earlier in Fig 7 show that, the maximum angle of dilation ψ_{max} is suppressed by the increase of normal stress. It is also demonstrating that the ψ_{max} is influenced by both the percent increase of calcareous material and its size range.

Bolton [12] examined the dilation behaviour of several sands worldwide tested in plain strain condition and proposed an empirical relationship relating the angle of shearing resistance ϕ , friction angle at constant volume ϕ_{cv} and the dilation angle ψ as;

$$\phi'_{max} = \phi'_{cv} + 0.8\psi \quad (2)$$

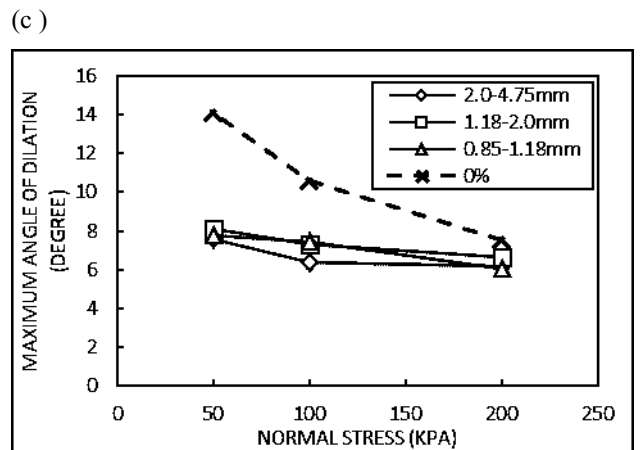
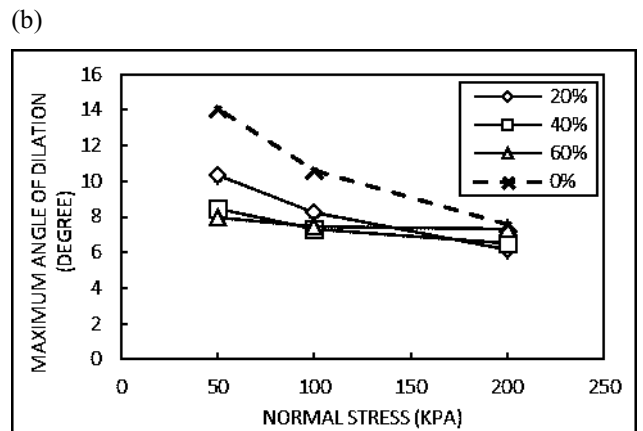
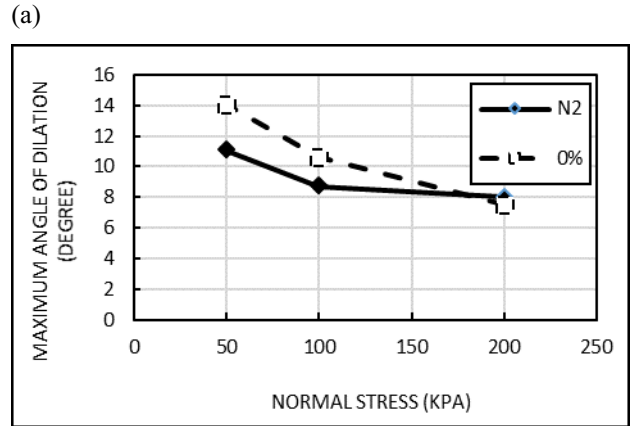


Figure 7. Variation of maximum angle of dilation with normal stress (a) clean sand (0%), (b) Various percentage of sand-shell mixture, (c) Various size range of shells

Simoni and Houlsby [13], Raju and Nivya [14] suggested that Bolton's equation can also be adopted for the direct shear condition as;

$$\phi'_p = \phi'_{cv} + b \psi_{max} \quad (3)$$

Where the ϕ'_p , ϕ'_{cv} and ψ_{max} are the angle of friction at peak stress value, the angle of friction at constant volume and the angle at a maximum rate of dilation respectively measured in the direct shear test and b is a constant similar to that proposed by Bolton

[12] to be equals to 0.8. Simoni and Houlsby [13] reported values of b slightly different than 0.8 as the percentage of larger size gravel within the sand sample is increased.

It is rather difficult to correctly determine the value of the parameter ϕ'_{cv} on a limited size direct shear test because of the relatively high strain required to reach the critical state which should also corresponds to the point of zero rate of dilation or constant volume. However, by plotting the stress ratio (T/σ) against horizontal displacement for both Natural calcareous sand and clean beach sand as shown in Figure 8, it indicates that the ultimate angle of friction ϕ'_r is not reaching the critical state and similarly for all other tests. Therefore, in order to examine the applicability of Bolton's equation for the case of shell- sand mixtures and for the sake of comparison, the amount of dilation exhibited during testing is estimated as the difference between the peak angle of shearing resistance ϕ'_p and the ultimate angle of friction ϕ'_r as it was measured during tests which arbitrary assumed to approximately equals to the critical state angle (ϕ'_{cv}).

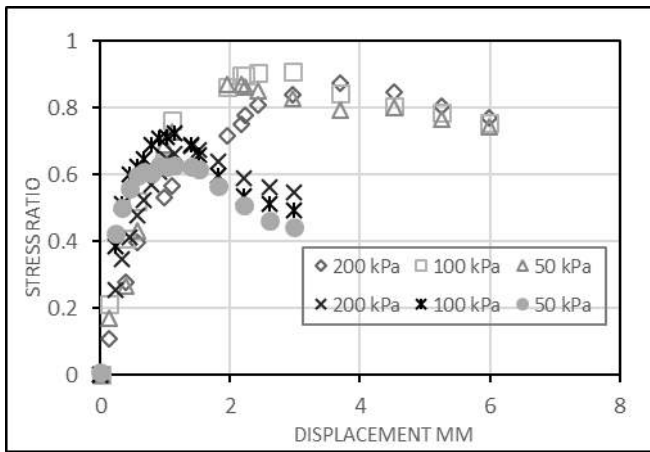


Figure 8. Stress ratio (T/σ) against horizontal displacement for (a) Natural calcareous sand (b) clean beach sand.

The effect of normal stress on the dilation behaviour is presented in Figure 9.a,b for various percentage and size of calcareous material and compared with both clean sand 0% and natural calcareous sand Ns. The results show a reduction of the dilation rate with the increase of normal stress.

(b)

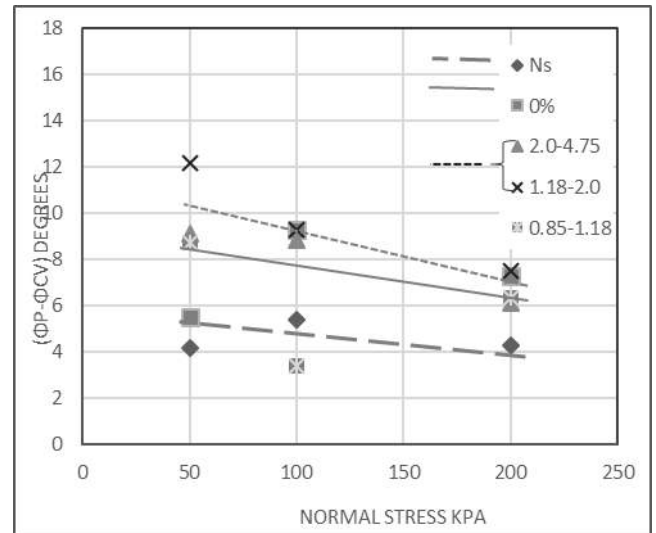
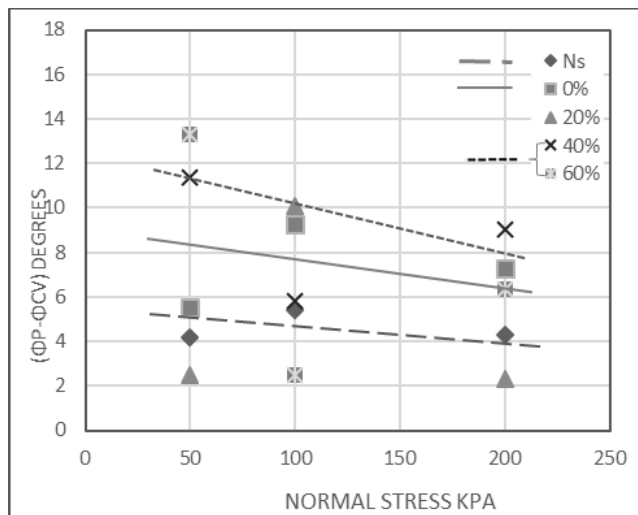


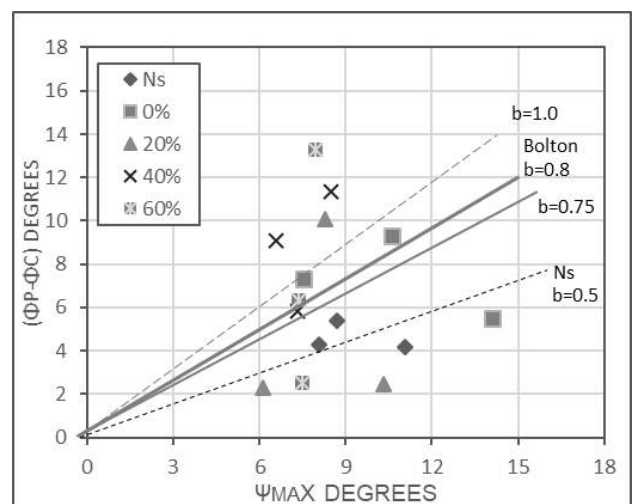
Figure 9. Dilation rate against normal stress (a) percentage of shells (b) Size range of shells

The general trend of the results is seemingly compatible with the findings of Bolton [12], this is more pronounced in case of clean sand 0% and natural calcareous sand Ns even though the later shows much lower dilation. It is also reported by Pei Cao et al [15], that the dilation tendency decrease with increasing particle size and effective confining pressure. The results obtained from tests on samples of reconstituted mixture do not show clearly similar behaviour but a general increase of dilation rate ($\phi'_p - \phi'_{cv}$) with the increase of both the amount and size of the calcareous material which is attributed to the increase of peak angle of friction corresponding to the decrease in the angle of dilation. Bolton's equation was found applied here for clean beach sand for the corresponding relative density used in the present study as presented in Figure 10.a,b. The constant b suggested by Bolton as 0.8 is reasonably fit for clean beach sand with b of 0.75 and with lower value of b of 0.5 for natural calcareous sand, but in contrary, for the reconstituted sand mixtures is showing greater values than 0.8 which may exceed (1.0) as the size or the amount of calcareous material is increased. This may not correctly represent the behaviour of a calcareous sand which supposedly be with lower value of the constant b , but it can be related to the inaccurate estimation of ϕ'_{cv} .

(a)



(a)



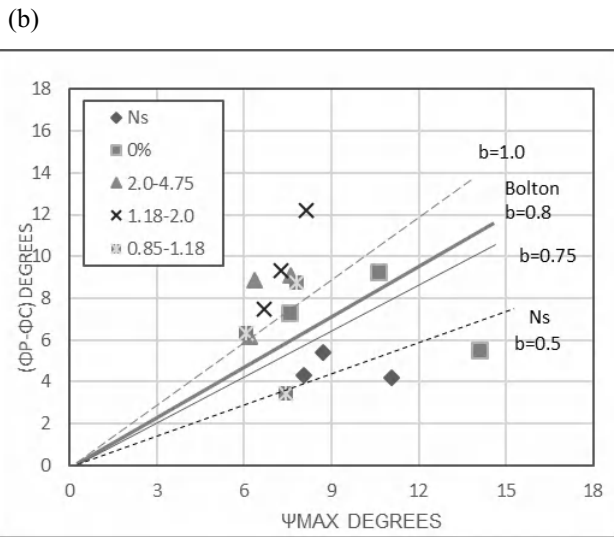


Figure 10. Dilation rate against ψ_{max} (a) percentage of shells (b) Size range of shells.

The results indicated that the behaviour of calcareous sand which is mostly or completely of carbonate origin cannot thoroughly be simulated by an artificial mixture which is partially consisted of silica sand, basically the effect of particle grading and particle strength have a very significant role on their behaviour. Nevertheless, the results presented in this study were able to qualitatively demonstrate the relative change of strength and dilation behaviour with the variation of calcareous material existing within the sand mass.

5. Conclusions

Based on a series of direct shear tests on clean beach sand and reconstituted sand-shell mixture with various proportions and sizes, it is observed that:

- The peak angle of shearing resistance (ϕ_p) is higher for natural calcareous sand sample than that for clean beach sand. However natural sand exhibits larger compression and lower dilation.
- Shearing resistance for sand - shell mixture is generally increasing with increasing shell content above 20%, whereas, exhibiting lower dilation
- sand-shell mixture with shell sizes generally larger than average sand sizes show higher peak friction resistance accompanied with lower dilation
- The susceptibility of particle breakage of calcareous material within the sand-shell mixture is significantly affecting the resulting behaviour.
- The results show that the equation suggested by Bolton to describe the dilation behaviour of quartz sands is generally not applicable for the reconstituted sand - shell mixture.

6. Acknowledgment

The experimental work was conducted in the soil mechanics laboratory, faculty of engineering, University of Garyounis, Benghazi Libya. The author wish to express his senciier thanks to the soil mechanics laboratory staff who were assesting in collecting the samples and testing.

References

- [1] Van Impe, W.F, Menotti, A., Menge, P., VandenBroeck, M., Vinck, K. (2015). Compaction control and related stress-strain behaviour of off-shore land reclamations with calcareous sands, *Soils and Foundations*; Vol 55 No. (6) pp1474–1486.
- [2] Abdeltawab S., EL Mashad M. and El Shinawi A. (2013). "Geoengineering Properties of calcareous and Quartzite sand collected from West Alexandria coastal line and Abo Rawash Quarry area." *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 4, Issue 11, 934
- [3] Safinus, S., Hossain, M.S., Randolph, M.F.(2013) Comparison of stress-strain behaviour of carbonate and silicate sediments , Proc. 18th Int. Conf. On Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 267–270.
- [4] Ata A., Salem T. N., Hassan R. (2018) Geotechnical characterization of the calcareous sand in northern coast of Egypt , *Ain Shams Engineering Journal*, 9, 3381–3390.
- [5] Hassanlourad M., Salehzadeh H., Shahnazari H. (2008) Dilation and particle breakage effects on the shear strength of calcareous sands based on energy aspects "International Journal of Civil Engineerng. Vol. 6, No. 2. 108-119
- [6] Al Hattamleh O.H., Al-Deeky H.H. & Akhtar M.N. (2013) The Consequence of Particle Crushing in Engineering Properties of Granular Materials, *International Journal of Geosciences* 04(07), 1055-1060M.
- [7] Lim, M. S., Wijeyesekera D. C., Zainorabidin A. & Bakar I. (2012) The Effects of Particle Morphology (Shape and Sizes) Characteristics on its Engineering Behaviour and Sustainable Engineering Performance of Sand, *International Journal of Integrated Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 27-37
- [8] Giang P.H.H., Van Impe P. O., Van Impe W. F., Menge P., Cnudde V., Haegeman W. (2017) Effects of particle characteristics on shear strength of calcareous sand , *Acta geotechnica Slovenica* 14(2).
- [9] Carter, J.P., Airey, D.W. and Fahey, M., (1999). A review of laboratory testing of calcareous soils, Proc., The Second International Conference on Engineering for Calcareous Sediments, Bahrain, 21-24 .
- [10] Elkateb T.M., Ali H.E. (2010), CPT-SPT correlations for calcareous sand in the Persian Gulf area "2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA.
- [11] Yasufuku N, Hyde A.F.L. (1995) Pile end-bearing capacity in crushable sand. *Geotechnique*;45(4):663–76.
- [12] Bolton, M.D. (1986) The strength and dilatancy of sands *Géotechnique.*, 36(1),65-78,.
- [13] Simoni, A. and Houlsby, G.T. (2006) The direct shear strength and dilatancy of sand-gravel mixtures." *Geotech. and Geol. Engrg.*, 24(3), 523-549.
- [14] K.V.S.B. Raju and Nivya E.C. (2017) Strength and Dilatancy of Granular Materials *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI) | Volume IV, Issue X, October, 2321–2705*
- [15] Pei Cao , Ming-jing JIANG and Zhi-jun DING, (2020) Effects of particle size on mechanical behaviors of calcareous sand under triaxial conditions, 8th Japan-China Geotechnical Symposium, Japanese Geotechnical Society Special Publication, Volume 8 , Issue 5 , , 182-187.



Ecological and Agrochemical Condition of Soils of L'viv Region of Ukraine as a Basis of Their Investment Attractiveness

Andriy Kyrylchuk^{1*}, Zinoviy Pankiv², Anatoliy Demchyshyn³,

^{1*} Ivan Franko National University of L'viv, 79000, Universytetska str, 1, L'viv, Ukraine, (ORCID ID 0000-0002-3700-3331), kyrylandrij@gmail.com

² Ivan Franko National University of L'viv, 79000, Universytetska str, 1, L'viv, Ukraine, (ORCID ID 0000-0002-6384-9541), zpankiv@gmail.com

³ L'viv branch of the state institution "Institute of Soil Protection of Ukraine", 81115, Shevchenka str, 6, Obroshyno, Pustomyty district, L'viv region, Ukraine, (ORCID ID 0000-0002-1572-9385), roduchist@mail.lviv.ua

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011396)

ATIF/REFERENCE: Kyrylchuk, A., Pankiv, Z. & Demchyshyn, A. (2021). Ecological and Agrochemical Condition of Soils of L'viv Region of Ukraine as a Basis of Their Investment Attractiveness. *European Journal of Science and Technology*, (28), 837-842.

Abstract

The use of ecological and agrochemical indicators to assess the agro-industrial properties of soils and the formation of a system of indicators of regional investment attractiveness of soils of agricultural lands is the basis for intensive development of the agro-industrial complex of L'viv region of Ukraine. The following parameters are important for assessing the investment attractiveness of land soils: the content of humus and mobile compounds of Phosphorus and Potassium in soils, the reaction of soil solution, as well as calculations of the balance of humus and nutrients. The proposed indicators of investment attractiveness of soils of L'viv region are the key to the introduction of a balanced type of land use, which is characterized by high crop yields and a deficit of nutrients in the soil, and thus minimize possible investment risks.

Keywords: ecological and agrochemical indicators; soils of L'viv region; investment attractiveness, soils of agricultural lands; soil fertility.

Yatırım Çekiciliğinin Temeli Olarak Ukrayna'nın L'viv Bölgesindeki Toprakların Ekolojik ve Zirai Kimyasal Durumu

Öz

Toprakların tarımsal-endüstriyel özelliklerini değerlendirmek için ekolojik ve tarımsal kimyasal göstergelerin kullanılması ve tarım arazilerinin topraklarının bölgesel yatırım çekiciliği göstergelerinin bir sisteminin oluşturulması, L'viv bölgesinin tarımsal-sanayi kompleksinin yoğun gelişiminin temelidir. Ukrayna. Arazi topraklarının yatırım çekiciliğini değerlendirmek için aşağıdaki parametreler önemlidir: topraklardaki humus ve hareketli Fosfor ve Potasyum bileşiklerinin içeriği, toprak çözeltisinin reaksiyonu ve ayrıca humus ve besin dengesi hesaplamaları. L'viv bölgesi topraklarının yatırım çekiciliğine ilişkin önerilen göstergeler, yüksek mahsul verimi ve topraktaki besin eksikliği ile karakterize edilen dengeli bir arazi kullanımı türünün getirilmesinin anahtarıdır ve böylece olası yatırım risklerini en aza indirir.

Anahtar Kelimeler: ekolojik ve zirai kimyasal göstergeler; L'viv bölgesi toprakları; yatırım çekiciliği, tarım arazilerinin toprakları; toprak verimliliği.

* Corresponding Author: kyrylandrij@gmail.com

1. Introduction

The area of L'viv region is 21.8 thousand km², which is 3.6% of the area of Ukraine. Population- 2.52 million people [17].

The northern part of the region lies within the Volyn Upland, Male Polissya and Podil Upland, separated by the Dniester Valley from the Pre-Carpathians. The ridges of the Ukrainian Carpathians are located in the south-west of the region [17].

L'viv region is characterized by diversity and richness of soil resources, as its territory is located within different soil-geographical areas.

According to a comprehensive assessment of land use of agricultural enterprises in the regions of Ukraine in terms of the value of agricultural land L'viv region is characterized by an average (satisfactory) level of investment attractiveness, and the level of economic soil fertility (land productivity) of agricultural enterprises- a sufficient level of investment attractiveness [7].

The main criterion that determines the priority areas of agricultural land use for various lands and crops, in addition to logistical aspects is the presence of productive soils with a strong humus horizon, significant content and reserves of humus, deficit-free balance of nutrients, favorable acid-air properties. mode. Actually, morphological features of soils (thickness of humus horizon), its properties (content of humus, physical clay, pH, content of mobile compounds of Phosphorus and Potassium) are the basis of qualitative assessment of agricultural lands (soil grading, economic assessment of lands, normative monetary assessment of land plots) [18].

Morphological and physicochemical properties of soils, which are the basis for quality assessment of agricultural soil groups within the natural-agricultural areas of L'viv region, are quite dynamic and necessitate the re-assessment of land once every 5-7 years. However, large-scale soil surveys have not been conducted in Ukraine for 30 years, which makes it impossible to conduct repeated land valuation works. Thus, the most reliable and dynamic information on the state of soils of agricultural lands of the region contain the results of agrochemical surveys, which should be used to improve the criteria for regional assessment of investment attractiveness of land.

A comprehensive analysis of recent publications shows that the issue of investment is studied both from a theoretical and practical point of view. Scientific publications widely cover issues related to innovation and investment activities in the agricultural sector ([7], [10]), methodological directions of forming the value of land resources ([2], [3]), problems of economic evaluation of investment attractiveness of land use of agricultural enterprises of Ukraine ([1], [2]) and others.

Theoretical and methodological provisions for assessing the investment attractiveness of soils are presented in the works of V.V. Medvedev and others [10]. They initiated a study to assess the investment attractiveness of Ukrainian lands on the basis of an integrated assessment of soil fertility, climatic and agricultural characteristics of land, which allows to establish their comparative investment attractiveness for growing crops. According to V.V. Medvedev, this will provide the necessary prerequisites for high and environmentally friendly crop yields and allow the use of modern agricultural technologies that give maximum effect if they are adapted to soil-climatic and ecological-economic conditions [10]. A promising area for

assessing the investment attractiveness of soils is a generalized rating of soils, which is based on the assessment of ecosystem services - the suitability of soils for growing demanding and undemanding field crops, as well as a number of soil and climatic criteria [1]. Within the Carpathian region of Ukraine, it is proposed to assess the investment attractiveness of soils, taking into account the indicators of the structure of the soil cover, which is characterized by heterogeneity, diversity and mosaic ([12]-[14], [18]).

2. Material and Method

Information on ecological and agrochemical indicators of soils of L'viv region is obtained from materials of agrochemical certification of agricultural lands of L'viv region (9 rounds of agrochemical survey have been conducted since 1964) and partly from materials of large-scale soil survey with further adjustment (1957-1961) ([9], [15], [17]). The monographic works of the series "Soils of Ukraine" of the staff of the Department of Soil Science and Soil Geography of Ivan Franko National University of L'viv and the electronic map of soils of L'viv region created at the Department of Soil Science and Soil Geography ([4], [5], [8], [13], [16], [17]). The research used a comprehensive systematic approach to determine the investment attractiveness of soils of L'viv region on the basis of their ecological and agrochemical indicators, the results of the balance method of calculations of nutrients and humus, as well as methods of mathematical statistics. The nomenclature of soils of L'viv region is submitted in accordance with the Word Reference Base for Soil Resources (WRB 2015) [6].

3. Results and Discussion

Favorable physical and geographical location of the L'viv region of Ukraine in relation to the European Union, transport accessibility, a fairly high level of economic soil fertility (land productivity), a significant share of agricultural land in the land structure and the possibility of growing crops necessitate the formation of reliable systems of indicators of regional investment attractiveness of soils of agricultural land plots for the needs of foreign and domestic investors, especially during the implementation of Ukraine's European integration strategy.

The structure of the soil cover of L'viv region is dominated by Albic Retisols (Arenic) 432.2 thousand hectares (17.9%), and the main areas of their distribution are confined to Male Polissya, Nadsyannia and Eastern Carpathian Foothills. About 54% of these soils are used in agricultural production, and the rate of their plowing is 33.2%. Dystric Cambisols in the region occupy 306.2 thousand hectares (14%) and dominate in the mountains. The rate of agricultural development of Dystric Cambisols is 65.1% and plowing - 16.8%. In the structure of soil resources of the region Luvic Greyzemic Phaeozems occupy an area of 264.1 thousand hectares (12.1%). The indicator of agricultural development of Luvic Greyzemic Phaeozems is 58.1%, plowing - 50.6%. A significant share in the structure of soil resources of the region is occupied by Phaeozems (4.1%), Chernic Rendzic Phaeozems (Aric) (2.1%) and Haplic Chernozems - 2.6% of the total soil area. They are marked by the highest indicators of agricultural development: 75.2%, 67% and 78.6%, respectively. Hydromorphic soils are characterized by considerable agricultural development due to large-scale drainage reclamation: Histic Gleysols (94.7%), Gleysols (84.2%), Histic Gleysols (82.5%), Histosols (72.1%). The vast majority of these soils are used as

hayfields and pastures, as evidenced by the rate of plowing of these soils, which ranges from 0.5 to 5.2) ([15], [17]).

Albic Retisols (Arenic) (15.2%), Dystric Cambisols (14.6%), Luvic Greyzemic Phaeozems (11.2%), Gleyic Chernic Phaeozems (Pachic) dominate in the structure of soils of agricultural lands of L'viv region) and Arenosols (Ochric) (8.3%).

Thus, the presence of Phaeozems, Chernic Rendzic Phaeozems (Aric) and Haplic Chernozems and Luvic Greyzemic Phaeozems with high fertility potential, as well as quite large areas of soil with high profitability is a favorable factor in the investment attractiveness of land use of agricultural enterprises in L'viv region.

Increased level of development (agronomization), i.e their excessive plowing, exceeding the level of allowable mechanical load, a significant share of row crops in crop rotations and unregulated technologies are common causes of soil degradation in L'viv region, including their erosion. At the same time, to some extent, the modern system of agriculture is also affected, which is characterized by imbalance and insufficient use of soil protection technologies [17].

We propose to assess the investment attractiveness of soils of L'viv region of Ukraine taking into account ecological and agrochemical indicators of soils, first of all, content of humus and mobile compounds of Phosphorus and Potassium in soils, pH of

soil solution, content and balance calculations in soils of organic matter and nutrients.

The level of potential soil fertility is assessed primarily by the content of organic matter or humus, because it concentrates about 98% Nitrogen, 60% Phosphorus, 80% Sulfur and a significant number of other macro-and micronutrients ([2], [3], [11]).

The largest area ($\approx 40\%$ of arable land in L'viv region) is occupied by soils with an average humus content (2.1% - 3.0%), which are distributed mainly within the Volyn and Podil uplands. The area of soils with very low and low content is $\approx 30\%$ (common within Male Polissya and Eastern Carpathian Foothills), elevated- 20%, high and very high - 10% (typical for the Podolsk part of the region) (Table 1).

According to the materials of agrochemical certification of agricultural lands, the weighted average humus content in the soils of arable lands of L'viv region ranged from 2.26% in 1991–1995 to 2.67% in 2011–2015. The largest losses (-0.23%) were found for period between 1986 and 1996 agrochemical survey. Crucial to a significant reduction in humus losses and its restoration are the introduction of a scientifically sound system of crop rotation, including expanding the area under perennial legumes, green manure and optimizing the ratio of crop rotations and row crops, the use of crop residues in crop production. crop rotation and the quantity and quality of applied organic fertilizers.

Table 1. Distribution of area land of L'viv region by humus content [17]

Years of Survey	Surveyed area K. ha	Soil area by humus content											
		Very low		Low		Average		Increased		High		Very high	
		< 1		1.1–2.0		2.1–3.0		3.1–4.0		4.1–5		> 5	
		K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%
2001–2005	547.4	5.3	1	164.3	30	205.5	38	89.0	16	47.5	9	35.8	7
2006–2010	610.8	24.2	4	210.0	34	208.4	34	103.0	17	38.4	6	26.6	4
2011–2015	497.6	8.0	2	148.2	30	192.1	39	98.1	20	31.4	6	19.9	4

One of the important criteria for investment attractiveness of soils, which affects their potential fertility and suitability for growing different crops, is the pH_{KCl} of the soil solution. Given the predominant share in the structure of crop rotations of cereals and legumes, soil acidity is a limiting factor and is the basis for the development of measures for their balanced use and protection. It is established that the area of acid soils of arable lands of the region is $\approx 35\%$ of the surveyed lands, of which 4.5% - strongly acidic, 12% - medium acidic and 18.5% - weakly acidic (Table 2) [11]. Strongly acid soils are distributed mainly within

the Ukrainian Carpathians and Pre-Carpathians, as well as in Male Polissya (pH_{KCl} 4.5 – 6.0). Within the Volyn and Podil uplands, where soils were formed mainly on the parent rocks of the forest formation, as well as on the eluvium-deluvium of carbonate rocks, their acidity is close to neutral (pH_{KCl} 5.6 – 6.0). As a result, the investment attractiveness of such soils increases.

The area of weakly and moderately acid soils is constantly increasing due to the reduction of soil areas with a neutral reaction of the soil solution.

Table 2. Distribution of area areas by pH_{KCl} indicators [17]

Years of Survey	Surveyed area, K. ha	Soil areas by indicators pH _{KCl}											
		Strongly acidic		Average acidic		Weakly acidic		Total acidic		Close to neutral		Neutral	
		< 4.5		4.6–5.0		5.1–5.5				5.6–6.0		> 6.0	
		K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%
1986–1990	748.2	32.3	4	67.7	9	114.3	15	214.3	29	152,8	20	381.2	51
1991–1995	571.7	8.7	2	40.6	7	85.6	15	134.9	24	125.0	22	311.9	55
1996–2000	436.6	5.6	1	20.7	5	48.0	11	74.3	17	82.8	19	279.5	64
2001–2005	547.4	12.4	2	37.7	7	81.6	15	131.7	24	115.5	21	300.2	55
2006–2010	610.8	26.7	4	68.3	11	118.4	19	214.8	35	114.7	19	281.3	46

The main causes of acidification are the absence or insufficient amount of chemical reclamation, the application of physiologically acidic fertilizers, as well as the removal of Calcium and Magnesium from the crop. Thus, optimizing the reaction of the soil solution by liming acid soils is an important way to reproduce the potential fertility of soils and increase their investment attractiveness.

At the same time, changes in market conditions and demand for crops, which form the optimal yield in the range of pH_{KCl} 3.5 – 4.5 soil solution (blueberries, flax, hemp, etc.) can not only

reduce the cost of chemical reclamation, in particular medium and strongly acid soils, as well as to involve low-productive soils in agricultural production, in particular Histic Gleysols, Gleysols, Histic Gleysols and Histosols.

An important role in plant nutrition belongs to Phosphorus, which has a dominant role in the fertilizer system. The gross phosphorus content is closely related to the profile distribution of organic matter content ([2], [3], [11], [17]). On average in the region, crop yields are limited by the content of mobile phosphorus compounds (Table 3).

Table 3. Distribution of area areas by content of Phosphorus mobile compounds [17]

Years of Survey	Surveyed area, K. ha	Soil area by content of mobile Phosphorus compounds											
		Very low		Low		Average		Increased		High		Very high	
		K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%
1986–1990	748.2	52.3	7	204.9	27	229.5	31	136.1	18	114.4	15	11.0	1
1991–1995	571.7	20.2	4	78.4	14	177.0	31	137.7	24	147.0	26	11.4	2
1996–2000	436.6	18.9	4	59.4	14	155.1	36	107.2	25	93.6	21	2.4	1
2001–2005	547.4	28.5	5	70.8	13	161.9	30	119.4	22	155.3	28	11.5	2
2006–2010	610.8	23.9	4	58.5	10	149.6	24	135.9	22	210.0	34	32.9	5
2011–2015	497.6	15.3	3	42.9	9	150.6	30	105.8	23	157.8	32	61.3	12

According to the agrochemical certification of the last three rounds (2001–2015), there is a slight increase in the content of mobile phosphorus compounds in the soils of arable lands of the region. During 2011–2015, the weighted average content of mobile phosphorus in soils was 136 mg/kg of soil, which is 23 mg more than in the period 2001–2005. One of the reasons for some increase in mobile phosphorus in Luvic Greyzemic Phaeozems and Phaeozems is their acidification. due to the systematic application of mineral fertilizers. This certainly contributes to increasing the investment attractiveness of land plots within which these soils are modal.

Potassium is also one of the most important nutrients in plants. Insufficient amount of available potassium in the soil not only reduces the possibility of obtaining a high yield, but also deteriorates its quality ([2], [3], [11], [17]). Application of potassium fertilizers in optimal doses affects the productivity of major crops and reduces the harmful effects on plants of extreme conditions: high and low temperatures, insufficient humidity, diseases and pests, and so on.

According to the agrochemical certification of agricultural lands, the share of soils with very high potassium content in L'viv region is increasing, and, accordingly, the area with its average content is decreasing (Table 4).

Based on the research of the L'viv branch of the state institution "Institute of Soil Protection of Ukraine", it has been established that in recent years the content of mobile compounds of Potassium in the soils of the region has increased slightly. Therefore, the weighted average content of potassium compounds in arable soils is 88 mg/kg of soil, which is 11 mg/kg of soil more than in the previous survey period. Soils of land plots, which are characterized by high and high content of mobile compounds of Potassium, especially with medium yields and a certain set of crops, can meet the needs of plants in this element without deficit and are characterized by increased investment attractiveness.

The system of agriculture, especially the degree of its intensification, determines the role of factors in the formation of crop yields. Under intensive agriculture, about 61% of the crop is

formed by fertilizers and plant protection products, and soil fertility accounts for 15% of the crop. In the extensive system, on the contrary: fertilizers account for 10%, and soil fertility and weather conditions – 60% [11]. It is the extensive system of agriculture used in the vast majority of agricultural enterprises in the region. So, there is a constant loss of nutrients and humus. This is confirmed by the data of agrochemical certification of lands, which was carried out on all fields and land plots every five years,

as well as calculations of the balance of organic matter and nutrients.

Calculations of the balance of basic nutrients confirm the process of reducing soil fertility of arable lands of L'viv region of Ukraine. Beginning in the 1990s, a negative balance of Nitrogen, Phosphorus and Potassium was rapidly formed, ranging from 30 to 112 kg/ha. This negative process is exacerbated by soil erosion.

Table 4. Distribution of area areas by content of Potassium mixtures [17]

Year	Surveyed area, K. ha	Soil area by content of mobile Potassium compounds											
		Very low		Low		Average		Increased		High		Very high	
		K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%	K. ha	%
1986–1990	748.2	25.7	3	203.9	27	251.5	34	173.1	23	89.7	12	4.3	1
1991–1995	571.7	15.3	3	136.3	24	180.5	32	141.6	25	90.8	16	7.1	1
1996–2000	436.6	27.8	6	154.3	35	134.7	31	76.5	18	42.4	10	0.9	0.2
2001–2005	547.4	20.1	4	156.1	29	184.4	34	116.7	21	69.5	13	0.6	0.1
2006–2010	610.8	20.0	3	151.2	25	186.9	31	147.2	24	96.1	16	9.4	2
2011–2015	497.6	14.4	3	152.2	31	134.2	27	148.2	30	96.9	19	39.8	8

Long-term research shows that the use of soils under field crops with unbalanced fertilization inevitably causes an acute shortage of certain nutrients. Thus, the estimated data on the balance of nutrients in agriculture in the L'viv region in 2017

indicate that a total of 189 Nitrogen, 52 Phosphorus, 128 kg/ha of potassium are lost. Nutrient losses exceed revenues, respectively, a negative balance of Nitrogen (22 kg/ha), Phosphorus (10 kg/ha) and Potassium (22 kg/ha) is formed (Table 5).

Table 5. Nutrition balance and intensity of nutrition balance in soils [17]

Years	Income, kg/ha	Removal, kg/ha	Balance, kg/ha	Balance intensity, %
1981–1985	358.5	240.4	118.1	149
1986–1990	443.8	283.2	160.6	157
1991–1995	317.8	347.5	-29.7	91
1996–2000	83.7	131.1	-47.4	64
2001–2005	64.2	127.1	-62.9	51
2006–2010	123.5	175.9	-52.6	70
2011–2015	208.1	320.3	-112.2	65
2016	323.2	359.6	-36.4	90
2017	314.5	368.0	-53.5	85

The calculation of the balance of humus allows us to trace the nature of changes in its content in the existing structure of sown areas and the level of application of mineral and organic fertilizers. According to estimates, the balance of humus in the soils of the region in recent years has been acutely deficient and ranged from -0.75 t/ha in 2001–2003 to -0.27 t / ha in 2015. The main reason for this is the extremely low application of organic fertilizers. On average, during 2006–2017, less than 1 ton of manure per 1 ha of sown area was applied in the region's farms, while the minimum rate for ensuring a deficit-free balance of humus for the Forest-Steppe is 6-8 t/ha. In 2016 and 2017, the estimated balance of humus is positive and is, respectively, 0.06

and 0.01 t/ha. The increase in humus content is due to the humification of plowed crop residues (straw of cereals, corn stalks, sunflower, rape, sugar beet tops) [17].

The analysis of the performed calculations of the balance of nutrients, humus and generalization of the results of ecological and agrochemical condition of soils shows the strengthening of the complex of degradation phenomena, in particular the reduction of the content of nutrients. To stop degradation processes and restore soil fertility, it is necessary to increase the application of organic and mineral fertilizers and chemical ameliorants.

high level of economic soil fertility, a significant share of agricultural land in the land structure and the possibility of growing crops are favorable factors of investment attractiveness of agricultural land use.

4. Conclusions and Recommendations

Our analysis allows us to draw the following conclusions:

1. Favorable geopolitical location of L'viv region of Ukraine, cross-border cooperation, well-developed infrastructure,

2. It is established that the most reliable and dynamic information about the state of soils of agricultural lands of the

region is contained in the results of agrochemical surveys, which we propose to use to improve the criteria for regional assessment of investment attractiveness of land.

3. The current ecological and agrochemical condition of soils of L'viv region is the basis for the formation of a reliable system of indicators of regional investment attractiveness of soils of agricultural land for the needs of foreign and domestic investors, especially during the implementation of Ukraine's European integration strategy.
4. Problematic aspects in creating a favorable investment climate in L'viv region are primarily increased development (agronomization) of soils of agricultural lands, i.e their excessive plowing, exceeding the allowable mechanical load, intensive and unregulated technologies, which are common causes of soil degradation, in particular.
5. Features of market conditions and demand for crops (blueberries, flax, hemp, etc.), the cultivation of which requires acidic soils can not only reduce the cost of chemical reclamation, but also to involve in agricultural production unproductive soils, including Histic Gleysols, Gleysols, Histic Gleysols and Histosols.
6. The proposed indicators of investment attractiveness of soils of L'viv region of Ukraine are the key to the introduction of a balanced type of land use, which is characterized by high crop yields and deficit-free balance of nutrients in soils, and thus minimize possible investment risks.

- [11] Melnychuk, D., Hoffman, J., & Gorodny, M. (2004). *Soil quality and fertilization strategies*. Aristei. Monograph.
- [12] Pankiv, Z. (2013). Productive soils as the basis for effective agricultural land use in the Carpathian region of Ukraine. *Visnyk of the Lviv University. Series Geography*, 44, 257–264. <https://doi.org/10.30970/vgg.2013.44.1231>
- [13] Pankiv, Z. P. (2015a). *Evolution of land use in Ukraine*. Monograph.
- [14] Pankiv, Z. P. (2015b). *Land use in the Carpathian region of Ukraine: theory, history and current state*. Monograph.
- [15] Pankiv, Z., Kyrylchuk, A., & Bonishko, O. (2021). Assessment of agricultural land soils of Lviv region. *The scientific issues of Ternopil Volodymyr Hnatuk national pedagogical university. Series: Geography*, 50(1), 169–177. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.1.21>
- [16] Pankiv, Z. P., & Pozniak, S. P. (1998). *Morphogenetic peculiarities of furt-podzolicsurfice-gleevy soil of northwestern Pre-Carpathians*. Monograph.
- [17] Pozniak, S. P., & Et Al. (2019). *Soils of L'viv Region*. Monograph.
- [18] Pozniak, S., Pankiv, Z., Yamelynets, T., & Havrysh, N. (2020). Investment attractiveness of soils of the Carpathian region of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 1(109), 26–34. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.026>.

References

- [1] Baliuk, S., V. Kucher, A. (2019). Spatial features of the soil cover as the basis for sustainable soil, *Ukrainian geographical journal*, 3, 03–14. <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.003>
- [2] S. A. Baliuk, S.A., Medvedev, V. V. (2012) Strategy of balanced use, reproduction and management of soil resources. *Agrarian Science*. Published.
- [3] Baliuk, S. A., Medvedev, V. V. & Zakharova, M. A. (2013). The state of soils of Ukraine and ways to increase their fertility in the conditions of optimization of land resources of Ukraine”, *Collection of scientific works "Agricuture"*, 85, 14-24.
- [4] Barannyk, A. V., & Pozniak, S. P. (2019). *The mountainous meadow-brown soils of the Svydovets and Chornogora arrays of the Ukrainian Carpathians*. Monograph.
- [5] Gaskevych, V. G. & Pozniak, S. P. (2004). *Dried mineral soils of Small Polissya*. Monograph.
- [6] IUSS Working Group WRB. (2015). *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports 106, FAO.
- [7] Kucher, A. V. (2018). Methodological principles of evaluation of investment attractiveness of agricultural enterprises”, *Bulletin of Economic Science Ukraine*, 1, 77–84.
- [8] Kyrylchuk, A. A. & Pozniak, S. P. (2004) *Rendzic Leptosols of Malyi Polissya*. Monograph.
- [9] Laktionova, T. N., Medvedev, V. V., & Savchenko, K. V. (2012). *Database Soil Properties of the Ukraine. Structure and the order of use* (2nd edition). Monograph.
- [10] Medvedev, V. V., Plysko, I. V., & Bihun, O. M. (2014). *The invested attraction of on arable land for Ukraine (the method of determination and mapping-analytical estimation)*. Monograph.



Parkinson Hastalarının Dikkat Fonksiyonlarının Cinsiyet Açısından Değerlendirilmesi: Bir fMRG Çalışması

Nur Yılmaz^{1*}, Güzin Özmen²

^{1*} Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7491-1219), nurvilmaaz66@gmail.com

² Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3007-5807), gozmen@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011593)

ATIF/REFERENCE: Yılmaz, N. & Özmen, G. (2021). Parkinson Hastalarının Dikkat Fonksiyonlarının Cinsiyet Açısından Değerlendirilmesi: Bir fMRG Çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 843-848.

Öz

Titre felç olarak tanımlanan Parkinson hastalığı Alzheimer'dan sonra en sık görülen 2. nörolojik hastalıktır. Son yıllarda, Parkinson hastalığının titreme, depresyon, duruş bozukluğu gibi farklı belirtileriyle ilişkilendirilen çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada Parkinson hastalarındaki dikkat bozukluğu üzerinde durulmuştur. Dikkat bozukluğu, Parkinson hastalığı olan bireylerde yaygın olarak bulunur ve bireylerin yaşam kalitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Dikkatin uyarma, yönlendirme ve yürütme etkilerini tek görevde birleştiren Dikkat Ağ Testi, 25 Parkinson hastası ve 21 sağlıklı birey tarafından uygulanmış ve görev tabanlı fonksiyonel görüntüleme tekniği ile kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler kafa hareketlerinin düzenlenmesi, işlevsel-yapısal bağdaştırma, segmentasyon, normalleştirme ve bulanıklaştırma ile bir dizi ön işleme aşamasından geçirilmiş ve etki kontrastları oluşturulmuştur. Oluşturulan kontrastlar ile grup analizleri yapılmış ve aktivasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Parkinson hastası ve sağlıklı bireylerin aktivasyonlarına bakıldığında her iki grup için Frontal ve Parietal bölgelerde aktivasyonun yoğunlaştığı, fakat Parkinson hastalarının dikkatin her etkisi için belirgin aktivasyon yoğunluğuna sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada aynı zamanda Parkinson hastalarındaki dikkat bozukluğunun cinsiyet üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Parkinsona sahip 7'si kadın 18'i erkek toplam 25 bireyin aktivasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Erkek bireylerin kadın bireylere kıyasla uyarma ve yönlendirme etkilerinde, Frontal ve Oksipital bölgelerde belirgin aktivasyon farklarına sahip olduğu görülmüştür. Bu aktivasyon farklarından hareketle Parkinson hastalığına sahip erkek bireylerin görsel bilgiyi işleme ve dikkati yönlendirme becerileri kadın bireylere kıyasla daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Parkinson Hastalığı, fMRG, Dikkat Ağ Testi.

Gender-Assessment of Attention Functions in Parkinson's Patients: An fMRI Study

Abstract

Parkinson's disease, defined as shaky palsy, is the second most common neurological disease after Alzheimer's. In recent years, studies have been carried out that relate different symptoms of Parkinson's disease such as tremor, depression, and postural disorder. In this study, attention disorder in Parkinson's patients was focused on. Attention deficit is commonly found in individuals with Parkinson's disease and has a significant impact on individuals' quality of life. The Attention Network Test, which combines the alerting, orienting and executive effects of attention in a single task, was administered by 25 Parkinson's patients and 21 healthy individuals and recorded with the task based functional imaging technique. The recorded data were preprocessed through a series of preprocessing steps with realignment, coregistration, segmentation, normalization and smoothing, and effect contrasts were created. Group analyzes were made with the created contrasts and the activation results were compared. When the activations of Parkinson's patients and healthy individuals were examined, it was seen that the activation intensified in the frontal and parietal regions for both groups, but Parkinson's patients had a significant activation intensity for each effect of attention. In this study, the effect of attention disorder in Parkinson's patients on gender was researched. The activation results of a total of 25 individuals, 7 female and 18 male, with Parkinson's were compared. It has been observed that male individuals have significant activation differences in the frontal and occipital regions in their excitation and orientation effects compared to female individuals. Based on these activation differences, it was observed that male individuals with Parkinson's disease were more successful in processing visual information and directing attention skills than female individuals.

Keywords: Parkinson's Disease, fMRI, Attention Network Test.

* Sorumlu Yazar: nurvilmaaz66@gmail.com

1. Giriş

Parkinson hastalığı ilk kez 1817 yılında Doktor James Parkinson tarafından “titrek felç” olarak tanımlanmıştır (Palsy, 2015). 60’lı yaşlarda görülmeye başlayan hastalık yaş ilerledikçe belirtilerini arttırır. Nörolojik bir hastalık olan Parkinson, Alzheimer’ dan sonra en sık görülen 2. hastalıktır (De Lau, 2006). Beynin arka tarafına uzanan “substansiya nigra” adı verilen siyah pig-mentli bölgenin etkinliğinin azalması sonucu “dopamin” salgılanması azalarak belirtilerin çıkmasına sebep olur (Ece Akbayır, 2017). Parkinson hastalığının teşhisi için özel bir test yoktur. Diğer hastalık olasılıklarının elenmesi ya da hastanın Parkinson ilaçlarına yanıt vermesi durumunda teşhis konulur (Jankovic., 2008). Tremor (titreme), rijidite (dinlenme halinde kasların sert ve gergin olma durumu), bradikinezi (hareketlerde yavaşlama) ve duruş refleksi bozukluğu bu hastalığın temel belirtileriyken görme bozukluğu, depresyon, uyku bozukluklarıyla da ilişkilendirilen çalışmalar yapılmıştır (Price, 1992), (Ahn, 2018), (Lemke, 2004), (Factor, 1990).

Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRG), dinlenme durumu ya da görev tabanlı bir görüntüleme tekniğidir. Kan-oksijen düzeyindeki değişimin (Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD)), beyinde oluşturduğu nöral aktivitenin dolaylı olarak ölçümünü sağlar (Logothetis, 2008). Bir görev ya da dinlenme durumunda beynin aktif bölgesi diğer bölgelere kıyasla daha fazla oksijene ihtiyaç duyar. Bu ihtiyaca cevap olarak aktif bölgeye daha fazla kan akışı olur. Beynin aktif bölgelerdeki deoksihemoglobin artışı ile ölçülen sinyal değişiklikleri beynin fonksiyonel haritalanmasına imkan verir.

Son zamanlarda nörodejeneratif hastalıklara (Alzheimer, Parkinson, Motor Nöron Hastalıkları...) ilişkin fMRG çalışmalarına bakıldığında, sonuçların hastaların beyin aktivasyonlarının sağlıklı bireylere kıyasla ayırıcı nitelikler gösterdiği saptanmıştır (Wang, 2007), (Shine, 2015).

Dikkat bozukluğu, demansı olmayan Parkinson hastalığı (PH) olan kişilerde yaygın olarak görülür (D. Aarsland, 2010). Literatüre bakıldığında PH’de dikkat bozukluğunun araştırılmasına ilişkin yapılan birkaç çalışmada Dikkat Ağ Testi (DAT) kullanılmıştır (Vandenbossche, 2012), (Hall, 2016), (Madhyastha, 2015), (Boord, 2017). Boord ve ark. PH ve sağlıklı bireyler (SB) arasında dikkat fonksiyonu farklılıklarını analiz etmişlerdir. PH’ye sahip bireylerde, dorsal dikkat ve frontoparietal ağların dört bölgesinde (sağ frontal göz alanı, sol ve sağ intraparietal sulkus ve precuneus) artan yürütme zorluğu sırasında daha fazla aktivasyon görülmüştür (Boord, 2017). Madhyastha ve ark. PH’ye sahip bireylerin dikkat ağlarını destekleyen kortikal bölgelerinin erken etkilendiği, aynı zamanda uyarılara daha yavaş cevap verdiği göz-lenmiştir (Madhyastha, 2015).

Literatürde PH’ye sahip bireylerin cinsiyete dayalı farklılıklarının araştırıldığı çalışmalar mevcuttur (Ophey, 2018), (Lee, 2020). Bu çalışma da Parkinson hastalarının dikkat fonksiyonlarını cinsiyet açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Boord ve ark. tarafından oluşturulan veri seti kullanılmıştır (Grabowski, 2019). Veriler bir dizi ön işleme aşamasından geçirildikten sonra rastgele etki (random effect) grup analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Katılımcılar

Bu çalışmadaki görev tabanlı fMRG verileri, daha büyük bir veri setinden seçilerek kamuya açık olarak paylaşılan ANT: Healthy Aging and Parkinson's Disease veri setinden elde edilmiştir (Grabowski, 2019). Çalışma-ya 1-3 hafta arayla iki tarama seansına katılan Parkinson hastası (PH) 25 birey ve 21 sağlıklı birey (SB) dahil edilmiştir. PH verileri, kapsamlı klinik muayene ve nöropsikolojik değerlendirmeye tabi tutuldukları daha büyük bir çalışma grubundan alınmıştır (Cholerton BA, 2013).

Tablo 1. Demografik Bilgiler

	PH	SB
Katılımcı Sayısı	25	21
Yaş (Yıl)	66.1 (10.0)	62.1 (9.9)
Cinsiyet (Erkek Sayısı)	18	9
Hoehn & Yahr	2.0 (0.3)	
UPDRS I	10.0 (5.7)	
UPDRS II	8.8 (5.3)	
UPDRS III	23.6 (8.7)	
UPDRS IV	2.0 (3.7)	
Hastalık Başlangıcı (Yıl)	8.4 (4.8)	
Eğitim (Yıl)	16.2 (2.1)	15.9 (2.4)
El Kullanımı (Sağ)	21	20

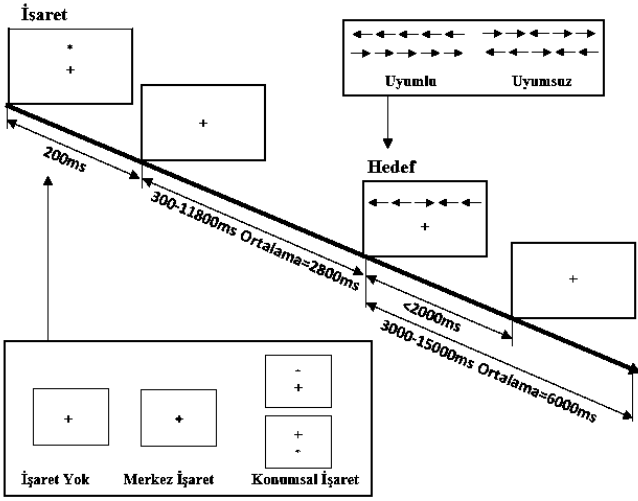
Veriler, 32 kanallı SENSE baş bobini ile Philips 3.0T X-Serisi Achieva MR Sistemi (Philips Medical Systems, yazılım sürümü R2.6.3) kullanılarak elde edilmiştir. Her birey DAT görevini altı kez tekrarlamış ve elde edilen işlevsel ve T1 ağırlıklı yapısal taramalar kaydedilmiştir. Toplamda 46 bireyin her iki oturumda da altı görev taraması ile veriseti oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan veri setinde görev taramaları için, tüm beyin eksenel eko-düzlemsel görüntüler (EPI) (43 sıralı artan dilim, 3 mm izotropik voksel, görüş alanı=240x240x129 mm, tekrar süresi=2400 ms, yankı süresi=25 ms, çevirme açısı=79 °, SENSE ivme faktörü=2) AC-PC hattına paralel olarak toplanmıştır. Her fonksiyonel tarama 149 kesitten (5.96 dakika) oluşmaktadır. Kayıt ve doku analizleri için 1 mm izotropik voksellere sahip bir sagittal T1 ağırlıklı 3D MPRAGE (176 kesit, matris boyutu=256x256, ters çevirme süresi=1100 ms, turbo alan yankı faktörü=225, tekrar süresi=7,46 ms, yankı süresi=3,49 ms, çevirme açısı=7°, atış aralığı=2530 ms) elde edilmiştir

2.2. Dikkat Ağ Testi

Fan ve ark. dikkatin davranışsal ölçümünü sağlamak için bir dikkat ağı testi (DAT) geliştirmişlerdir (J. Fan B. M., 2002). DAT, dikkatin uyarma, yönlendirme ve yürütme işlevlerinin beyin aktivitesini tek görevde inceleme imkânı sunar.

Test esnasında katılımcılara ilk olarak 200ms boyunca ekranın merkezinde bulunan sabitleme noktası (işaret yok), sabitleme noktası üzerinde işaret (merkez işaret) ya da sabitleme noktası altında veya üstünde işaret (konumsal işaret) gösterilmiştir. Ardından 300-11800 ms aralığında değişken bir sürede sabitleme ekranı gösterilmiştir. Son olarak 2000 ms’yi geçmeyecek şekilde merkezdeki ok ile aynı (uyumlu) ya da zıt (uyumsuz) yönlü olarak 5 adet ok gösterilmiş ve katılımcının merkezdeki okun yönüne göre sağ veya sol elindeki düğmeye basması istenmiştir. DAT şeması Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Dikkat Ağ Test Şeması (J. Fan B. M., 2002)

fMRG kontrastları oluşturmak için üç işaret koşulu (işaret yok, merkez işaret, konumsal işaret) ve iki hedef koşul (uyumlu ve uyumsuz) kullanılmıştır. Oluşturulan davranışsal kontrastlar aşağıdaki gibidir.

- Uyarı etkisi=İşaret yok yanıtı–Merkez işaret yanıtı
- Yönlendirme etkisi=Merkez işaret yanıtı–Konumsal işaret yanıtı
- Yürütme etkisi=Uyumsuz hedef yanıtı–Uyumlu hedef yanıtı

2.3. Önileme

Fonksiyonel MR görüntüleri ile istatistiksel analiz yapılabilmesi için verilere önileme adımlarının uygulanması gerekmektedir. Bunlar, kafa hareketlerinin düzenlenmesi, işlevsel-yapısal bağdaştırma, segmentasyon, normalleştirme ve bulanıklaştırma işlemlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada görev tabanlı verilerin önilemesi Matlab tabanlı SPM12 (Statistical Parametric Mapping) arayüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kafa Hareketlerinin Düzeltmesi (Realignment): Ön işleminin ilk adımı işlevsel görüntüleri yeniden hizalamaktır. Görüntü kalitesini negatif açıdan etkileyen ve kafa hareketlerinden kaynaklanan gürültünün filtrelenmesi gerekir. Bu aşamada her bir dilim tek bir referans hacmiyle bağdaşacak şekilde hizalanır.

İşlevsel ve Yapısal Bağdaştırma (Coregistration): Kafa hareketi düzeltilen görüntüler katılımcının T1 ağırlıklı görüntüsü

ile bağlanır. Bu aşamada beyin aktivasyonlarının nöroanatomi ile bağlantısı sağlanır.

Segmentasyon: Beynin anatomik yapısı gri madde, beyaz madde ve beyin omurilik sıvısı (BOS) olarak ayrılır.

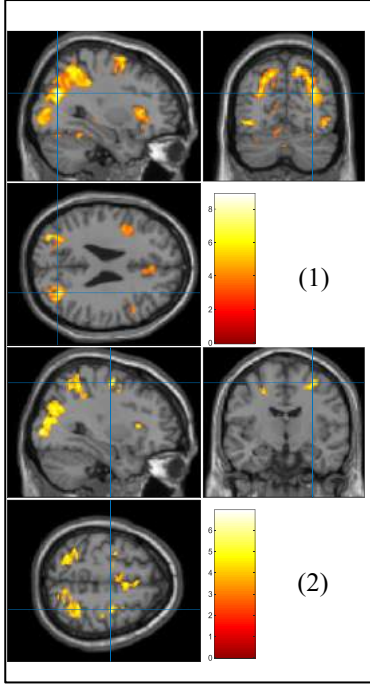
Normalleştirme: Yüksek çözünürlüklü T1 ağırlıklı görüntüleri, standart T1 beyin şablonu ile standartlaştırılır. Hesaplanan normalizasyon parametreleri standartlaştırılan görüntüye uygulanır. Bu adımda amaç fonksiyonel görüntülerin standardize edilerek aynı boyut ve şekilde olmasını sağlayarak bireyler arası karşılaştırmaya imkân sağlanmasıdır.

Bulanıklaştırma (Smoothing): Önilemenin son adımıdır. Hafif fonksiyonel/anatomik farklılıkları düzeltmek amacıyla uygulanmaktadır. Bulanıklaştırma işlemi bir kernel çekirdeğinin görüntü üzerinde gezdirilmesi ile gerçekleşir. Bu çalışmada FWHM (Full Width at Half Maximum (Yarı Maksimumda Tam Genişlik)) kernel çekirdeğinin boyutu 4mm olarak seçilmiştir.

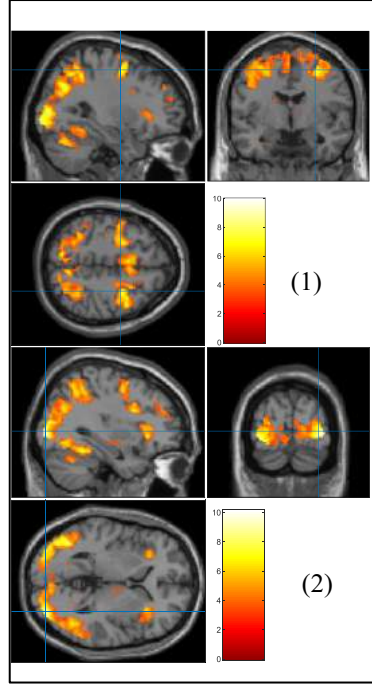
2.4. Veri Analizi

Bu çalışmada fMRG verilerinin istatistiksel analizi için Genel Doğrusal Modele (General Linear Models (GLM)) dayalı bir yaklaşım uygulanmıştır. Kontrast vektör oluşturmak için üç işaret koşulu (işaret yok, merkez işaret, konumsal işaret) ve iki hedef koşul (uyumlu ve uyumsuz) başlangıç süreleri belirtilerek tanımlanmış ve aktif durumlar için +1 ve pasif durumlar için -1 kontrast ağırlıkları belirlenmiş, hata denemeleri analize dahil edilmemiştir. Görev tabanlı fonksiyonel verilere 128 Hz yüksek geçiren filtre uygulanmıştır. Her katılımcı için ayrı ayrı uyarma, yönlendirme ve yürütme kontrast vektörleri oluşturulmuştur. Oluşturulan kontrastların anlamlılık seviyesi $p=0.001$ ile eşiklendirilmiştir ve family-wise error (FWE) düzeltmesi yapılmamıştır.

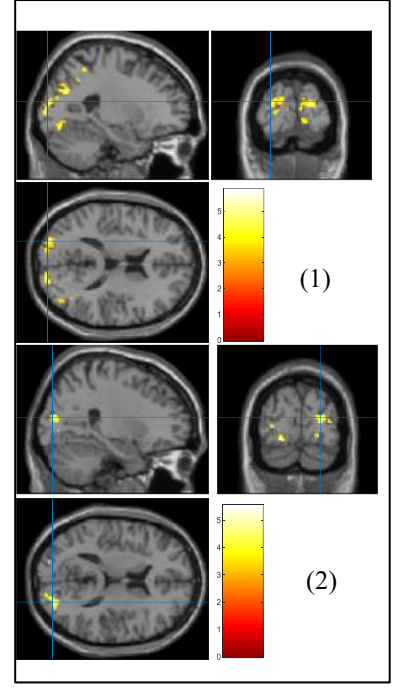
Çalışmada cinsiyet açısından PH'yi değerlendirmek ve grup analizinde kullanmak için öncelikle tüm deneklere bireysel analiz uygulanmıştır. İlk aşamada SB ve PH'ye sahip bireylerin uyarma, yönlendirme ve yürütme etkisine yönelik ayrı ayrı grup analizi yapılmıştır. İstatistiksel grup analizi sonucu oluşan renklendirilmiş beyin haritaları Şekil 2' de uyarma, Şekil 3' de yönlendirme ve Şekil 4'te yürütme etkisi için görülmektedir. İkinci olarak PH'ye sahip bireylerde DAT görevlerinin cinsiyet yö-nünden karşılaştırmalı grup analizi gerçekleştirilmiş ve meydana gelen aktivasyonlar, beyin bölgesi ve voksel sayıları belirtilerek tabloleştirilmiştir. Kadın ve erkek PH'ler için elde edilen renklendirilmiş beyin haritaları Şekil 5' te uyarma, Şekil 6'da yönlendirme ve Şekil 7'de yürütme etkisi için görülmektedir.



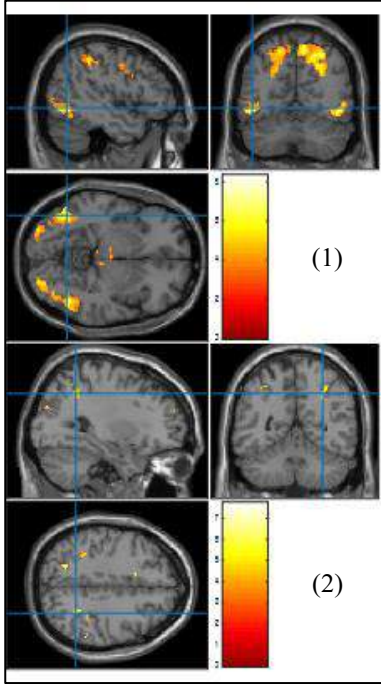
Şekil 2. PH (1) ve SB (2)
Uyarma Etkisi



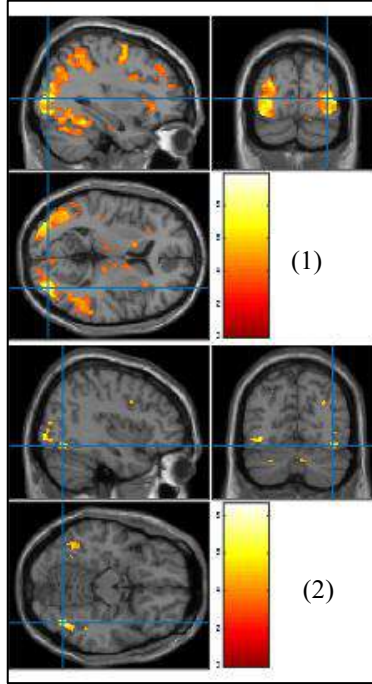
Şekil 3. PH (1) ve SB (2)
Yönlendirme Etkisi



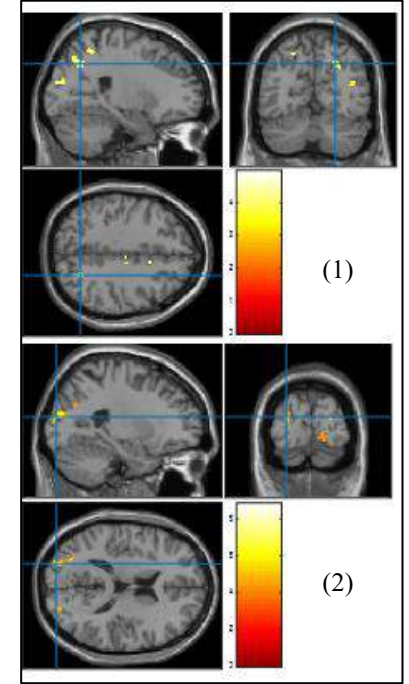
Şekil 4. PH (1) ve SB (2)
Yürütme Etkisi



Şekil 5. PH Erkek (1) ve PH
Kadın (2) Uyarma Etkisi



Şekil 6. PH Erkek (1) ve PH
Kadın (2) Uyarma Etkisi



Şekil 7. PH Erkek (1) ve PH
Kadın (2) Uyarma Etkisi

Tablo 3. PD'ye sahip kadın bireylerin DAT görevleri aktivasyon tablosu ($p < 0.001$ (FWE düzeltilmemiş), $T =$ Eşik Yüksekliği)

	Etki	İlişkili Beyin Bölgeleri	Voksel Sayısı	Maksimum MNI Koordinatları			T	p	
				X	Y	Z			
Kadın	Uyarma	Frontal Bölge	122	36	-30	36	3.82	0.000	
		Oksipital Bölge	81	30	-84	28			
		Parietal Bölge	158	30	-52	42			
		Temporal Bölge	70	-40	-56	-4			
		Midbrain	79	10	-26	-12			
		Insula	63	-40	12	2			
		Thalamus	92	14	-14	10			
	Yönlendirme	Frontal Bölge	60	34	0	56			
		Oksipital Bölge	298	38	-88	6			
		Parietal Bölge	86	30	-60	48			
		Temporal Bölge	252	-40	-52	-16			
		Cerebellum Posterior Bölge	88	-14	-74	-34			
	Yürütme	Oksipital Bölge	251	-24	-90	16			
		Parietal Bölge	33	-26	-72	32			
		Cerebellum Posterior Bölge	24	34	-60	-28			
	Toplam			1757					
	Voksel								

Tablo 4. PD'ye sahip erkek bireylerin DAT görevleri aktivasyon tablosu ($p < 0.001$ (FWE düzeltilmemiş), $T =$ Eşik Yüksekliği)

	Etki	İlişkili Beyin Bölgeleri	Voksel Sayısı	Maksimum MNI Koordinatları			T	p	
				X	Y	Z			
Erkek	Uyarma	Frontal Bölge	2014	-4	6	50	3.34	0.000	
		Temporal Bölge	6215	48	-60	6			
		Midbrain	66	6	-26	-2			
		Insula	65	34	22	2			
		Thalamus	45	-6	-22	0			
	Yönlendirme	Frontal Bölge	4307	4	18	40			
		Oksipital Bölge	11821	34	-84	6			
		Temporal Bölge	172	50	-22	-10			
		Midbrain	392	-6	-28	-6			
		Thalamus	72	-8	-18	10			
	Yürütme	Frontal Bölge	35	-14	2	58			
		Oksipital Bölge	124	-22	-96	6			
		Parietal Bölge	235	24	-64	40			
		Temporal Bölge	30	40	-72	26			
	Toplam Voksel			25593					

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Sonuç

Bu çalışmada 21 SB ve 25 PH'li bireyin DAT görevleri esasındaki fonksiyonel MR taramaları kul-lanılarak grup analizi yapılmış ve sonrasında PH' ye sahip 7 kadın ve 18 erkek birey

arasında beyin aktivasyon farkları açısından cinsiyet karşılaştırması gerçekleştirilmiştir.

Üç farklı dikkat görevi için karşılaştırma yapıldığında SB'nin PH'ye sahip bireylere nispeten uyar-ma ve yürütme görevlerinde aktivasyon farklılıkları görülmüştür. Boord ve ark. yaptıkları çalışmada Parkinson hastası ve sağlıklı bireyler arasında beyin

aktivasyon farklarını incelemişler ve özellikle yürütme etkisi için Parkinson hastalığına sahip bireylerde Oksipital, Frontal ve Parietal bölgelerde yüksek aktivasyon oluştuğunu tespit etmişlerdir (Boord, 2017). Benzer şekilde bu çalışmada da her iki grup içinde aktivasyonların Frontal ve Parietal bölgelerde yoğunlaştığı görülmüştür.

PD'ye sahip bireylerin cinsiyet karşılaştırmasına bakıldığında erkek bireyler kadın bireylere göre 23836 voksel daha fazla aktivasyon göstermiştir. Sırasıyla dikkat görevlerinin aktivasyon farklarına bakıldığında, uyarma etkisinin frontal ve temporal bölgelerde belirgin aktivasyon farkı görülürken, midbrain, thalamus ve insula ortak aktivasyon bölgelerinde ciddi bir farka rastlanmamıştır.

Yönlendirme etkisinde yine frontal ve oksipital bölgelerde ciddi aktivasyon farklılıkları görülürken, erkek bireylerde farklı olarak midbrain ve thalamusta aktivasyonlar görülmüştür.

Yürütme etkisinde oksipital ve parietal bölgelerde aktivasyon farklılıkları görülmüştür. Özellikle uyarma ve yönlendirme etkilerinde frontal ve oksipital bölgelerde ciddi aktivasyon farkları görülmüştür.

Bu sonuçlara göre PH'ye sahip erkek bireylerin görsel bilgiyi işleme ve dikkati yönlendirme becerileri kadın bireylere kıyasla daha başarılı olduğu sonucuna varılabileceği görülmektedir.

3.2. Tartışma

Bu çalışmada kullanılan veri setinde hem SB ve hem PH için kadın-erkek birey sayısında orantısızlık mevcuttur.

Kullanılan veri seti ile yapılan çalışmalara bakıldığında SB ve PH'ye sahip bireylerin DAT görevler boyunca verilen yanıt gecikmeleri karşılaştırılmış ve PH'ye sahip bireylerin SB'ye oranla yanıtlarında gecikmeler saptanmıştır (Madhyastha, 2015). Ayrıca yapılan diğer çalışmada PH'ye sahip bireylerin beyin aktivasyonlarında yürütme etkisinin SB'ye göre yüksek aktivasyon oluşturduğu görülmüştür (Boord, 2017). Bu çalışma ise PD'ye sahip bireylerin dikkat eksikliğinin, DAT görevleri ile cinsiyet açısından farklılığını an-lamaya yönelik bir adımı temsil etmektedir.

Kaynakça

- Ahn, J. L. (2018). Retinal thinning associates with nigral dopaminergic loss in de novo Parkinson disease. *Neurology*, 91(11), e1003-e1012.
- Boord, P. M. (2017). Executive attention networks show altered relationship with default mode network in PD. *NeuroImage: Clinical*(13), 1-8.
- Cholerton BA, Z. C. (2013). Pacific Northwest Udall Center of excellence clinical consortium: study design and baseline cohort characteristics. *J Parkinsons Dis.*, 3(2), 205-214.
- D. Aarsland, K. B.-G. (2010). Mild cognitive impairment in Parkinson disease: a multicenter pooled analysis. *Neurology*(75), 1062-1069.
- De Lau, L. M. (2006). Epidemiology of Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 5(6), 525-535.
- Ece Akbayır, M. Ş. (2017). PARKINSON HASTALIĞININ ETYOPATOGENEZİ. *DENEYSEL TIP DERGİSİ*, 7(13).
- Factor, S. A.-R. (1990). Sleep disorders and sleep effect in Parkinson's disease. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 5(4), 280-285.

- Grabowski, T. K. (2019). ANT: Healthy aging and Parkinson's disease. *OpenNeuro*. <https://doi.org/10.12688/fl000research.19288.1> adresinden alındı
- Hall, J. M. (2016). Dysfunction in attentional processing in patients with Parkinson's disease and visual hallucinations. *Journal of Neural Transmission*(123(5)), 503-507.
- J. Fan, B. M. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *J. Cogn. Neurosci.*(14 (3)), 340-347.
- J. Fan, B. M. (2005). The activation of attentional networks. *NeuroImage*(26), 471-479.
- Jankovic., J. J. (2008). Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. *Journal of neurology, neurosurgery & psychiatry*, 4(79), 368-376.
- Lee, Y. H. (2020). Gender-specific effect of urate on white matter integrity in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 75,41-47.
- Lemke, M. R. (2004). Depression and Parkinson's disease. *Journal of neurology*, 251(6), vi24-vi27.
- Logothetis, N. K. (2008). What we can do and what we cannot do with fMRI. *Nature*(453(7197)), 869-878.
- Madhyastha, T. M. (2015). Dynamic connectivity at rest predicts attention task performance. *Brain connectivity*(5(1)), 45-59.
- Ophey, A. E. (2018). Health-related quality of life subdomains in patients with Parkinson's Disease: The role of gender. *Parkinson's Disease*.
- Palsy, S. (2015). James Parkinson's essay on the shaking palsy. *JR Coll Physicians Edinb*(45), 84-6.
- Price, M. J. (1992). Abnormalities in color vision and contrast sensitivity in Parkinson's disease. *Neurology*, 42(4), 887-887.
- Shine, J. M. (2015). Abnormal connectivity between the default mode and the visual system underlies the manifestation of visual hallucinations in Parkinson's disease: a task-based fMRI study. *npj Parkinson's Disease*, 1(1), 1-8.
- Vandenbossche, J. D. (2012). Conflict and freezing of gait in Parkinson's disease: support for a response control deficit. *Neuroscience*(206), 144-154.
- Wang, K. L. (2007). Altered functional connectivity in early Alzheimer's disease: A resting-state fMRI study. *Human brain mapping*, 28(10), 967-978.



Evaluation of the Antioxidant Effects of Postbiotics and Paraprobiotics in Lactic Acid Bacteria Isolated from Traditional Fermented Sausages

Betül Aydın^{1*}, Tuğçe Çiydem², Esra Kaya³, Leyla Açıık⁴

^{1*} Gazi University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9092-1350), barslan@gazi.edu.tr

² Gazi University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7430-1891), ciydemtuğce@gmail.com

³ Gazi University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5449-7794), esrakaya1715@gmail.com

⁴ Gazi University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3672-8429), leylaacik@gazi.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011409)

ATIF/REFERENCE: Aydın, B., Çiydem, T., Kaya, E. & Açıık, L. (2021). Evaluation of the Antioxidant Effects of Postbiotics and Paraprobiotics in Lactic Acid Bacteria Isolated from Traditional Fermented Sausages. *European Journal of Science and Technology*, (28), 849-852.

Abstract

Recent studies in the field of probiotic biotechnology have shown that some non-living microorganisms or the metabolites they produce have at least as valuable biological activities as probiotic bacteria. Paraprobiotics are described as non-viable microbial cells that confer a benefit to the human or animal when administered in adequate amounts. Bioactive soluble metabolic byproducts produced by live probiotic microorganisms that impart some physiological benefit to the host are referred to as postbiotics. Live probiotic bacteria have been used for many years to strengthen the antioxidant defense system against oxidative stress that causes many diseases. The antioxidant activity of postbiotics and paraprobiotics in lactic acid bacteria isolated from twelve different hand-made fermented sausages was assessed using the DPPH radical scavenging assay in this research. It was determined that the free radical scavenging effect of postbiotics used in the study was between 5.65% and 76.04%, and the effect of paraprobiotics varied between 5.90% and 18.07%. According to the findings, antioxidant capacity of the postbiotics and paraprobiotics are strain-dependent and the postbiotics have higher antioxidant activity than the paraprobiotics.

Keywords: Lactic acid bacteria, postbiotics, paraprobiotics, antioxidant activity, fermented sausages.

Geleneksel Fermente Sucuklardan İzole Edilen Laktik Asit Bakterilerindeki Postbiyotik ve ParaprobİYotiklerin Antioksidan Etkilerinin Değerlendirilmesi

Öz

Probiyotik biyoteknolojisi alanındaki son çalışmalar, bazı cansız mikroorganizmaların veya ürettikleri metabolitlerin en az probiyotik bakteriler kadar değerli biyolojik aktivitelere sahip olduğunu göstermiştir. ParaprobİYotikler, yeterli miktarlarda uygulandığında insan veya hayvana fayda sağlayan canlı olmayan mikrobiyal hücreler olarak tanımlanmaktadır. Canlı probiyotik mikroorganizmalar tarafından üretilen ve konakçıya bazı fizyolojik faydalar sağlayan biyoaktif çözümler metabolik yan ürünlere ise postbiyotikler denilmektedir. Canlı probiyotik bakteriler, birçok hastalığa neden olan oksidatif strese karşı antioksidan savunma sistemini güçlendirmek için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu çalışmada on iki farklı el yapımı fermente sucuk örneğinden izole edilen laktik asit bakterilerindeki postbiyotiklerin ve paraprobİYotiklerin antioksidan aktivitesi DPPH radikal süpürücü etki yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan postbiyotiklerin serbest radikal süpürücü etkisinin %5,65 ile %76,04 arasında, paraprobİYotiklerin etkisinin ise %5,90 ile %18,07 arasında değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, postbiyotiklerin ve paraprobİYotiklerin antioksidan kapasitesinin suşa bağımlı olduğu ve postbiyotiklerin paraprobİYotiklere göre daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Laktik asit bakterileri, postbiyotikler, paraprobİYotikler, antioksidan aktivite, fermente sucuk.

1. Introduction

Functional foods can be defined as items that are specifically designed to meet any given requirement in terms of functionality, nutrition, convenience, and medicinal characteristics [1]. The use of probiotic microorganisms as "food additives" has experienced tremendous growth in the functional food industry in recent years. Probiotics, according to the World Health Organization and the Food and Agriculture Organization, are living non-pathogenic microorganisms that have been shown to have well-documented beneficial health effects when given in the right doses in the prevention and treatment of a variety of diseases [2]. Probiotic bacteria can contribute to the balance of the host's gut microbiota, alter immunological response, and act as health promoters in a variety of ways [3].

Fermented meat have been consumed by humans for thousands of years, and some of these items are still part of our daily meals. Lactic acid bacteria (LAB) are primarily responsible for the fermentation of meat raw materials [4]. It is known that many strains of lactic acid bacteria have probiotic activity [5].

New terms like paraprobiotic and postbiotic have evolved, implying that bacterial viability isn't required for health benefits, potentially creating new opportunities in the field of functional foods. Paraprobiotics are non-viable microbial cells or raw cellular extracts that provide a benefit to the human or animal consumer when given in sufficient proportions. Bacterial metabolites and byproducts produced by living probiotic microorganisms or released after cell rupture that provide any physiological advantage to the host are referred to as postbiotics [6]. In vitro and in vivo investigations have revealed that several postbiotics and paraprobiotics have anti-inflammatory, immunomodulatory, anti-proliferative, antioxidant, and antibacterial properties [7].

The aim of this study is to evaluate the antioxidant activity of postbiotics and paraprobiotics of LAB isolated from fermented sausages.

2. Material and Method

2.1. Isolation of LAB

12 different fermented sausages were bought from local markets in Ankara, Turkey using traditional techniques without the use of starter cultures. Each of these samples (10 g) was separately blended and added to 900 mL of sterile buffered peptone water (Merck, Germany), and homogenized. The same diluent was used to make serial 10-fold dilutions. The surface spreading technique was used to apply 0.1 mL of the adequately diluted sample to the surface of the de Man, Rogosa Sharpe Agar media (MRS, Merck). The plates were incubated aerobically at 37°C for 48 h. After incubation, colonies were randomly picked from plates based on their morphological traits. Gram staining and catalase production were used to classify the purified isolates. The isolates of catalase negative, Gram-positive rods or cocci were presumed to be LAB. Typical LAB isolates were identified with MALDI-TOF MS Biotyper (Bruker Daltonics, Germany) at species level and stored at -80 °C in MRS broth with glycerol.

2.2. Preparation of Postbiotics and Paraprobiotics

All of the isolates were grown in MRS broth for 24 h at 37 °C. The cells were separated by centrifugation at 10,000×g for

10 min. The supernatant was filtered through 0.22 µm pore sized membrane syringe filter (Millipore, USA). The harvested cell-free supernatant (postbiotic) was kept at 4°C until used in antioxidant activity assay.

After centrifugation, cell pellets were used for preparing the paraprobiotics. The cell pellet was washed with distilled water and suspended in the same solvent, and then the cells were killed by sonication for 5 min. [8]. This solution was used as paraprobiotics.

2.2. Antioxidant Activities of Postbiotics and Paraprobiotics

The free radical scavenging potential of the samples was evaluated by 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging assay [9]. 0.5 mL of postbiotic or paraprobiotic sample mixed with a freshly prepared methanolic solution of DPPH radical (0.1 mM). Following the incubation at room temperature in the dark for 30 min, absorbance was read by a spectrophotometer (Shimadzu UV-1800, Japan) at 517 nm against a blank. The percentage of DPPH radical scavenging effect was calculated using the equation below:

$$\text{DPPH scavenging activity (inhibition\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

where A_{control} is the absorbance of the control and A_{sample} is the absorbance of the reaction mixture.

3. Results and Discussion

In the present study, the antioxidant ability of the postbiotic and paraprobiotics was evaluated by using the DPPH radical scavenging activity method and the inhibition percentages of the samples are given in Table 1. The inhibition percentages of the postbiotic samples were between 5.65% and 76.04%; paraprobiotic samples were found to be between 5.90% and 18.07%. It was determined that the antioxidant activity of postbiotic samples was higher than paraprobiotic samples of the same strain. The highest antioxidant activity in the postbiotic samples was detected in *Enterococcus faecium* ETE12 strain (76.04%). Therefore, the highest antioxidant activity among paraprobiotic samples was observed in *Enterococcus faecium* ETE10 strain (18.07%).

Peroxidation is caused by the critical process of oxidative metabolism in cells, which produces reactive oxygen species and free radicals that cause oxidative damage [10]. Antioxidants from natural sources have been used to mitigate the effects of oxidative stress and reactive oxygen species. Probiotics have long been known to offer a variety of health benefits, and studies have shown that strain-specific probiotics can have antioxidant activity and prevent oxidative damage when consumed alone or in meals [11].

Synthetic antioxidants are frequently employed in the creation and maintenance of meals, however they may cause a variety of health problems. As a result, finding and developing natural antioxidants is critical for protecting the human body from oxidative stress and slowing the progression of many diseases. There are many studies on the use of probiotic lactic acid bacteria isolated from different fermented foods as a natural source of antioxidants [12, 13, 14]. Also, the antioxidant properties of postbiotic and paraprobiotic samples obtained from various bacterial strains were evaluated separately in some studies [15, 16, 17]. However, there is no study in the literature comparing the antioxidant activity of postbiotic and paraprobiotics in the same

bacterial strain. In this study, it was aimed to evaluate the antioxidant activity of postbiotic and paraprobiotics of lactic acid bacteria isolated from fermented sausages. When the data obtained were evaluated, it was determined that the antioxidant activity of postbiotic and paraprobiotics was strain-dependent. It is known that these differences in the antioxidant activity of postbiotics and paraprobiotics vary depending on the antioxidant enzymes, metabolites and metal ion chelators contained in the postbiotics and paraprobiotics [16]. Therefore, the properties of the mentioned antioxidant molecules may differ in other strains of the same genus or species [6].

The results show that the obtained postbiotics have higher antioxidant capacity than paraprobiotics. While the cells are growing in culture, they secrete the metabolites that they form outside the cell during the incubation period. For this reason, it is expected that the postbiotics in the culture medium are more than the metabolites in the cell. The difference between the antioxidant activity of postbiotics and paraprobiotics is thought to be due to this situation.

Previous studies have shown that postbiotics have several pharmacodynamic features that are superior to live bacteria [18, 19, 20]. In addition to all these, postbiotics are recommended to be used instead of live bacteria in foods due to their advantages such as being easier to transport and storing, and the less possibility of transferring antibiotic resistance genes [21, 22]. In the current study, it has been shown that postbiotics are more effective than paraprobiotics in terms of antioxidant capacity in the bacterial strains studied.

Table 1. DPPH scavenging activities of postbiotics and paraprobiotics (inhibition%)

Strain	Postbiotic samples	Paraprobiotic samples
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ETE1	49.88 ± 0	10.27 ± 1.47
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ETE2	41.40 ± 0.52	9.90 ± 0.12
<i>Weissella cibaria</i> ETE3	5.65 ± 2.08	5.90 ± 0.72
<i>Lactococcus lactis</i> ETE4	70.52 ± 2.08	12.79 ± 1.08
<i>Enterococcus faecalis</i> ETE5	68.06 ± 0.43	12.71 ± 0.48
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> ETE6	69.41 ± 0.52	11.94 ± 0.36
<i>Enterococcus hirae</i> ETE7	71.99 ± 1.28	17.30 ± 0.24
<i>Enterococcus faecium</i> ETE10	70.15 ± 1.56	18.07 ± 1.32
<i>Enterococcus faecalis</i> ETE11	66.09 ± 1.04	16.36 ± 1.32
<i>Enterococcus faecium</i> ETE12	76.04 ± 1.56	12.20 ± 0.72

4. Conclusions and Recommendations

Paraprobiotics and postbiotics, show a lot of promise as antioxidant agents, as well as other health benefits. These properties lead to the emergence of new pharmaceutical treatments for various diseases associated with oxidative stress and are safer alternatives to live microorganisms. However, further research is needed to confirm the benefits of paraprobiotics and postbiotics.

5. Acknowledge

We would like to thank Dr. Aysun Uysal from Hatay Mustafa Kemal University Centre for Implementation and Research of Plant Health Clinic, who performed MALDI-TOF analyzes for the identification of bacteria.

References

- [1] Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93-118.
- [2] Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization. (2021). Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. World Health Organization [Online]. Available: http://who.int/foodsafety/fs_management/en/probiotic_guidelines.pdf. 2002.
- [3] Trush, E. A., Poluektova, E. A., Beniashvili, A. G., Shifrin, O. S., Poluektov, Y. M., & Ivashkin, V. T. (2020). The evolution of human probiotics: challenges and prospects. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12(4), 1291-1299.
- [4] Ojha, K. S., Kerry, J. P., Duffy, G., Beresford, T., & Tiwari, B. K. (2015). Technological advances for enhancing quality and safety of fermented meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 105-116.
- [5] Quinto, E. J., Jiménez, P., Caro, I., Tejero, J., Mateo, J., & Girbés, T. (2014). Probiotic lactic acid bacteria: a review. *Food and Nutrition Sciences*, 5(18), 1765.
- [6] Barros, C. P., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Duarte, M. C. K., Silva, M. C., Silva, R., ... & Cruz, A. G. (2020). Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. *Current Opinion in Food Science*, 32, 1-8.
- [7] Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M., & Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food Research International*, 109502.
- [8] Pieniz, S., Andreatza, R., Anghinoni, T., Camargo, F., & Brandelli, A. (2014). Probiotic potential, antimicrobial and antioxidant activities of *Enterococcus durans* strain LAB18s. *Food Control*, 37, 251-256.
- [9] Braca, A., De Tommasi, N., Di Bari, L., Pizza, C., Politi, M., & Morelli, I. (2001). Antioxidant principles from bauhinia t arapotensis. *Journal of Natural Products*, 64(7), 892-895.
- [10] Schogor, A. L. B., Palin, M. F., dos Santos, G. T., Benchaar, C., Lacasse, P., & Petit, H. V. (2013). Mammary gene expression and activity of antioxidant enzymes and oxidative indicators in the blood, milk, mammary tissue and ruminal fluid of dairy cows fed flax meal. *British Journal of Nutrition*, 110(10), 1743-1750.
- [11] Lin, M. Y., & Yen, C. L. (1999). Antioxidative ability of lactic acid bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4), 1460-1466.
- [12] Afify, A. E. M. M., Romeilah, R. M., Sultan, S. I., & Hussein, M. M. (2012). Antioxidant activity and biological evaluations of probiotic bacteria strains. *International Journal of Academic Research*, 4(6).
- [13] Amaretti, A., Di Nunzio, M., Pompei, A., Raimondi, S., Rossi, M., & Bordoni, A. (2013). Antioxidant properties of

- potentially probiotic bacteria: in vitro and in vivo activities. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(2), 809-817.
- [14] Zhang, S., Liu, L., Su, Y., Li, H., Sun, Q., Liang, X., & Lv, J. (2011). Antioxidative activity of lactic acid bacteria in yogurt. *African Journal of Microbiology Research*, 5(29), 5194-5201.
- [15] Ou, C., Ko, J., & Lin, M. (2006). Antioxidative effects of intracellular extracts of yogurt bacteria on lipid peroxidation and intestine 407 cells. *Journal of Food and Drug analysis*, 14(3), 304-310.
- [16] Chang, H. M., Foo, H. L., Loh, T. C., Lim, E. T. C., & Mutalib, N. E. A. (2020). Comparative Studies of Inhibitory and Antioxidant Activities, and Organic Acids Compositions of Postbiotics Produced by Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* Strains Isolated From Malaysian Foods. *Frontiers in Veterinary Science*, 7.
- [17] Martorell, P., Alvarez, B., Llopis, S., Navarro, V., Ortiz, P., Gonzalez, N., ... & Tortajada, M. (2021). Heat-Treated *Bifidobacterium longum* CECT-7347: A Whole-Cell Postbiotic with Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Gut-Barrier Protection Properties. *Antioxidants*, 10(4), 536.
- [18] Jang, H. J., Song, M. W., Lee, N. K., & Paik, H. D. (2018). Antioxidant effects of live and heat-killed probiotic *Lactobacillus plantarum* Ln1 isolated from kimchi. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3174-3180.
- [19] Hsieh, F. C., Lan, C. C. E., Huang, T. Y., Chen, K. W., Chai, C. Y., Chen, W. T., ... & Wu, C. S. (2016). Heat-killed and live *Lactobacillus reuteri* GMNL-263 exhibit similar effects on improving metabolic functions in high-fat diet-induced obese rats. *Food & Function*, 7(5), 2374-2388.
- [20] Thakur, B. K., Saha, P., Banik, G., Saha, D. R., Grover, S., Batish, V. K., & Das, S. (2016). Live and heat-killed probiotic *Lactobacillus casei* Lbs2 protects from experimental colitis through Toll-like receptor 2-dependent induction of T-regulatory response. *International Immunopharmacology*, 36, 39-50.
- [21] Piqué, N., Berlanga, M., & Miñana-Galbis, D. (2019). Health benefits of heat-killed (Tyndallized) probiotics: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10), 2534.
- [22] Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories*, 19(1), 1-22.



HTEA Tabanlı KEMIRA-M Yöntemi ile Sağlık Sektöründe Risk Değerlendirme

Nuray Arslan¹, Elif Kılıç Delice^{2*}

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0003-4605-6782), nryarsln.25@gmail.com

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-3051-0496), elif.kdelice@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011721)

ATIF/REFERENCE: Arslan, N., Delice, E.K. (2021). HTEA Tabanlı KEMIRA-M Yöntemi ile Sağlık Sektöründe Risk Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 853- 862.

Öz

Acil servislerde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili risklerin belirlenmesi ve bu risklere karşı gerekli önlemlerin alınması; sağlık çalışanlarının iş yüklerinin azaltılması ve sağlık hizmetlerinin kalitesinin artırılması için son derece önemlidir. Bu nedenle uygun risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak risk kriterleri (faktörleri) ve bu kriterleri azaltmak için alınacak risk önlemleri belirlenmelidir. Bu çalışmada; acil servislerde risk değerlendirilmesi için Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) tabanlı Kemeny Median Indicator Ranks Accordance-Modified (KEMIRA-M) yöntemi önerilmiştir. İlk aşamada; HTEA yöntemi kullanılarak uzman görüşlerine göre risk kriterlerinin öncelikleri bulunmuştur. İkinci aşamada ise; KEMIRA-M yöntemi ile elde edilen medyan matrisine göre kriter öncelikleri belirlenmiş ve bu önceliklere göre risk kriterlerini azaltıcı önlemler açıklanmıştır. KEMIRA-M yöntemi hem HTEA yöntemi ile geliştirilmiş hem de ana ve alt kriterlerden oluşan hiyerarşik bir yapıdaki kriter grubuna uygulanmıştır. Önerilen yöntem ile acil servislerde yapılan risk değerlendirmesi sonucunda güvensiz nöbet-vardiya ortamı, tıbbi cihazlar ve ergonomi ile ilgili riskler en önemli risk kriterleri olarak belirlenmiştir. Bu risklerin azaltılması için çalışma koşullarının ergonomik açıdan düzenlenmesi, kişisel koruyucu donanımların kullanımı ve işçilere eğitim/seminer verilmesi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Acil Servis, Risk Değerlendirme, Çok Kriterli Karar Verme, HTEA, KEMIRA-M

Risk Assessment in the Health Sector with the FMEA-Based KEMIRA-M Method

Abstract

Identifying risks related to occupational health and safety in emergency services and taking necessary precautions against these risks; It is extremely important for reducing the workload of health workers and increasing the quality of health services. For this reason, risk criteria (factors) and risk measures to be taken to reduce these criteria should be determined by using appropriate risk assessment methods. In this study; Failure Types and Effects Analysis (FMEA) based Kemeny Median Indicator Ranks Accordance-Modified (KEMIRA-M) method has been proposed for risk assessment in emergency services. First stage; By using the FMEA method, the priorities of the risk criteria were found according to expert opinions. In the second stage; Criteria priorities were determined according to the median matrix obtained by the KEMIRA-M method and measures to reduce risk criteria were explained according to these priorities. The KEMIRA-M method was developed with the FMEA method and was applied to a hierarchical criteria group consisting of main and sub-criteria. As a result of the risk assessment made in the emergency services with the proposed method, the most important risk criteria were determined as the unsafe duty-shift environment, risks related to medical devices and ergonomics. In order to reduce these risks, it has been suggested that the working conditions should be arranged ergonomically, the use of personal protective equipment and training/seminar should be given to the workers.

Keywords: Emergency Service, Risk Assessment, Multi-Criteria Decision Making, FMEA, KEMIRA-M

1. Giriş

Hastanelerin en önemli birimlerinden birisi olan acil servisler, acilen bakılması gereken hastaların ilk müdahalelerinin

* Sorumlu Yazar: elif.kdelice@atauni.edu.tr

ve tedavilerinin yapıldığı bölümler olarak bilinmektedir. Acil servislerde çalışan personel her gün birçok riskle karşı karşıya kalmaktadır. Karşılaşılan risklerin belirlenmesi ve bu risklere karşı gerekli önlemlerin alınması; sağlık çalışanlarının çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve sağlık hizmetlerinin kalitesini arttırmak açısından son derece gereklidir. Bu nedenle acil servislerde yapılan risk değerlendirme çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır.

Risk değerlendirme sürecinde kullanılacak olan en uygun yöntemin belirlenmesi risklerin ve bu risklere karşı alınabilecek önlemlerin doğru belirlenmesi için önemli bir aşamadır. Bu süreç birden fazla ve çelişen kriteri kapsamaması nedeniyle karar verici (KV)'ler için zor ve karmaşık bir süreçtir. ÇKKV yöntemleri birden fazla alternatifin alanında uzman KV'lerin görüşleri dikkate alınarak birbiriyle çelişen birden fazla kritere göre değerlendirilmesiyle alternatiflerin seçilmesi/sıralanmasını sağlayan bir karar yaklaşımıdır. Risk değerlendirme sürecinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanılması daha kapsamlı ve doğru sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden biri olan ve Krylovas vd. [15] tarafından önerilen Kemeny Median Indicator Ranks Accordance-Modified (KEMIRA-M) yöntemi risk değerlendirmesi için Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ile geliştirilmiş ve yeni bir risk değerlendirme yöntemi olarak HTEA tabanlı KEMIRA-M yöntemi önerilmiştir. HTEA uygulaması; potansiyel hataları tanımlamakta ve her hatanın nedenlerini ve etkilerini belirlemektedir HTEA hatalar ortaya çıkmadan hatanın tespit edilip gerekli önlemlerin alınması, hatanın etkisinin en alt düzeye indirilmesi, mümkün olduğu sürece hatanın tamamen ortadan kaldırılmasını amaçlayan bir risk değerlendirme yöntemidir. KEMIRA-M yöntemi ise kriterlerin kendi içinde birkaç kriter grubuna ayrıldığı durumlarda kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve bu ağırlıkların kullanılarak alternatif seçimi yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. KEMIRA-M yöntemi diğer ÇKKV yöntemlerine kıyasla çok daha az başlangıç bilgisi gerektirir. Yöntem, uzmanlardan bilgi toplamanın oldukça zor olduğu durumlarda kullanılır [3]. Sadece birkaç uzman tarafından belirlenen kriter sıralamaları ile bu yöntemin uygulanması için yeterlidir [15].

Önerilen HTEA tabanlı KEMIRA-M yönteminde kriter öncelikleri HTEA yöntemi ile elde edilen Risk Öncelik Sayısı (RÖS)'na göre belirlenmiştir. Daha sonra bu öncelikler KEMIRA-M yönteminde medyan matrisinin hesaplanmasında kullanılmış ve böylece risk kriterlerinin ağırlıkları bulunmuştur. KEMIRA-M yönteminde KV'ler kendi tecrübelerine dayanarak kriter önceliklerini belirlemektedirler. Bu çalışmada HTEA yöntemi kullanılarak KEMIRA-M yönteminde uzman değerlendirmelerinden kaynaklanan sübjektiflik azaltılmış ve kriter önceliklerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır. Geliştirilen HTEA tabanlı KEMIRA-M yöntemi ile acil servislerde sağlık personeli için risk değerlendirilmesi yapılarak en önemli risk kriterleri belirlenmiştir.

HTEA yöntemi literatürde sağlık alanında; risk yönetimi modeli oluşturmak, iş ve meslek hastalıkları yönünden risk durumunu incelemek, sağlık çalışanlarında psikososyal risk faktörlerini belirlemek, acil servislerinin risk seviyelerini sıralamak, elektronik reçete için güvenlik modeli geliştirmek, acil servislerdeki iletişim sürecini iyileştirmek, HTEA yürütülürken karşılaşılan sorunların üstesinden gelmek, HTEA yönteminin sağlık hizmetlerinde stratejik bir yeri olan hasta güvenliğine katkısını incelemek, hasta – hekim ilişkisindeki eksikliklerin ve

hataların, hasta açısından varsayımsal etkilerini incelemek, ambulansların hasta getirme alanını haritalamak ve hasta güvenliğini veya işlem verimliliğini tehlikeye atabilecek adımları belirlemek için tehlike analizi yapmak ve acil servis departmanını iyileştirmek için kullanılmıştır. ([1],[10],[12],[9],[11],[22],[27],[2],[6],[7],[26])

KEMIRA-M yöntemi literatürde; atık geri dönüşüm tesisi yer seçimi, güvenlik personeli seçimi, oylama teorisi ile ilk defa karşılaştırma yapılması, insan kaynakları seçimi, forklift seçimi, şantiyelerde risk değerlendirmesi, mermer kesme makinesinin seçimi, alışveriş merkezi seçimi, drone seçimi, depo yeri seçimi, alternatif altı sigma projelerinin önceliklendirilmesi ve seçimi, acil servislerde ve boru imalatında ergonomik risk değerlendirmesi için kullanılmıştır ([15],[3],[14],[17],[16],[23],[30],[24],[29],[13],[20],[4],[8]).

Bu çalışma çeşitli yönlerden literatüre katkı sağlamaktadır. İlk defa HTEA ve KEMIRA-M yöntemi birlikte kullanılmıştır. KEMIRA-M hiyerarşik bir kriter yapısına uygulanmıştır. Literatürde hiyerarşik yapıyı uygulayan bir çalışma bulunmamaktadır [4]. Ayrıca, bu çalışmada literatürde az sayıda çalışmanın olduğu acil servislerde risk değerlendirme konusu ele alınmış ve ÇKKV yöntemleri kullanılarak daha kapsamlı bir risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında, HTEA ve KEMIRA-M yöntemleri hakkında bilgi verilecek ve önerilen yöntem açıklanacaktır. Üçüncü bölümde, önerilen yöntem kullanılarak acil servisler bölümünde gerçekleştirilen risk uygulamasından bahsedilecektir. Son bölümde sonuç ve tartışma verilecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. HTEA Yöntemi

HTEA yöntemi; olasılık, şiddet ve saptanabilirliğe bağlı olarak hataların önceliğini ortaya çıkarmaktadır. Sorunların izlenmesini ve düzeltici faaliyetlerin yapılmasını sağlamaktadır [19].

Olasılık(O): Her bir hata türünün meydana gelme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. HTEA olasılık değerlendirme skalası Tablo 1'de gösterilmiştir [25].

Şiddet(S): Hatanın sebep olabileceği zararın değeri olarak tanımlanmaktadır. HTEA şiddet değerlendirme skalası Tablo 2'de gösterilmiştir [19].

Saptanabilirlik (S): Hataların önceden belirlenebilmesinin zorluk derecelendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Saptanabilirlik değerlendirme skalası Tablo 3'de gösterilmiştir [19].

Risk Öncelik Sayısı (RÖS): Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerine bağlı olarak Eşitlik (1) kullanılarak elde edilen değerdir. Risklerin öncelik sıraları RÖS değeri ile belirlenir.

$$RÖS=O*Ş*S \quad (1)$$

Tablo 1. Olasılık Skalası

Hata olasılığı	Hatanın ihtimali	Derece
Oldukça yüksek	1/2 den fazla	10
Çok yüksek	1/3	9
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Çok düşük	1/150000	2
Hemen hemen olanaksız	1/1500000 den fazla	1

Tablo 2. Şiddet Skalası

Etki	Şiddetin etkisi	Derece
Uyarısız gelen tehlike	Felakete yol açabilecek ve uyarısız gelen potansiyel hata	10
Uyarısız gelen tehlike	Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	9
.	.	.
.	.	.
Çok küçük	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata	2
Yok	Etki yok	1

Tablo 3. Saptanabilirlik Skalası

Saptanabilirlik	Saptanabilirlik olasılığı	Derece
Fark edilemez	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği mümkün değil	10
Çok az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok uzak	9
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği çok yüksek	2
Hemen Hemen Kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği hemen hemen kesin	1

2.2. KEMIRA-M Yöntemi

KEMIRA-M yöntemiyle problem çözümünün ilk aşamasında, KV değerlendirmeleri ile kriterlerin önceliği Kemeny Medyan (Kemeny Median) yöntemi kullanılarak belirlenirken; ikinci aşamada, kriter ağırlıkları Sıralama Uygunluk Göstergesi (Indicator Rank Accordance) yöntemi

kullanılarak belirlenmektedir. KEMIRA-M yönteminin adımları aşağıda verilmiştir ([14], [13]).

Adım 1: KV'lerin ve kriterlerin belirlenmesi

İlk olarak araştırılacak konuda uzman kişilerden oluşan bir KV grubu oluşturulur ve KV_s ; $s = 1, \dots, S$ ile ifade edilir. Daha sonra x_j ; $j=1, \dots, m$, ve $y_{j'}$; $j'=1, \dots, n$; olmak üzere; KV'ler tarafından iç ve dış kriterler belirlenir. Son olarak, kriter grubuna bağlı olarak alternatifler belirlenir ve R_i ; $i=1, \dots, K$ ile ifade edilir.

Adım 2: Başlangıç karar matrisinin oluşturulması

Her bir KV için ana iç ve ana dış kriter gruplarına ait başlangıç karar matrisleri $[D_X : D_Y]$, Eşitlik (2)'de gösterildiği gibi oluşturulur.

$$[D_X : D_Y] = \begin{bmatrix} y_1^{(1)} & \dots & y_{j'}^{(1)} & \dots & y_n^{(1)} & : & x_1^{(1)} & \dots & x_j^{(1)} & \dots & x_m^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & : & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1^{(i)} & \dots & y_{j'}^{(i)} & \dots & y_n^{(i)} & : & x_1^{(i)} & \dots & x_j^{(i)} & \dots & x_m^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & : & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1^{(K)} & \dots & y_{j'}^{(K)} & \dots & y_n^{(K)} & : & x_1^{(K)} & \dots & x_j^{(K)} & \dots & x_m^{(K)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada; $x_j^{(i)}$ i . alternatifi j . ($j=1, \dots, m$) ana iç kriter için aldığı değeri ve $y_{j'}^{(i)}$ i . alternatifi j' . ($j'=1, \dots, n$) ana dış kriter için aldığı değeri göstermektedir.

Adım 3: Başlangıç karar matrisinin normalize edilmesi

Oluşturulan başlangıç karar matrisi normalize edilmektedir. Eşitlik (3)'de ana kriterler için gösterilmiştir [32]. Aynı işlemler alt kriterler için de geçerlidir.

$$x_j^{(i)*} = (x_j^{(i)}) / \sqrt{\sum_{j=1}^m x_j^{(i)2}}, \quad i=1,2,\dots,K \quad (3)$$

$$y_{j'}^{(i)*} = (y_{j'}^{(i)}) / \sqrt{\sum_{j'=1}^n y_{j'}^{(i)2}},$$

Burada, $x_j^{(i)*}$ i . alternatifi j . iç kriter için normalize edilmiş değerini ve $y_{j'}^{(i)*}$ i . alternatifi j' . dış kriter için normalize edilmiş değerini göstermektedir.

Adım 4: Her bir KV için kriter önceliklerinin belirlenmesi

KV'ler, birbirlerinden bağımsız bir şekilde her iki kriter grubu için ayrı ayrı kriter önceliklerini belirlerler. Kriter önceliği olarak "1" değerini alan kriterin, diğerlerinden daha önemli olduğu düşünülmektedir. KV'ler tarafından belirlenen kriter öncelikleri Tablo 4'de ana kriterler için gösterilmiştir. Benzer işlemler alt kriterler için de geçerlidir.

Tablo 4. Kriterler İçin KV'ler Tarafından Belirlenen Öncelikler

DM_s	y_1	...	$y_{j'}$	...	$y_{j'}$	x_1	...	x_j	...	x_j
1	$(y_1)_r^1$	...	$(y_{j'})_r^1$	...	$(y_{j'})_r^1$	$(x_1)_r^1$	...	$(x_j)_r^1$	...	$(x_j)_r^1$

s	$(y_1)_r^s$	...	$(y_{j'})_r^s$	...	$(y_{j'})_r^s$	$(x_1)_r^s$	...	$(x_j)_r^s$	...	$(x_j)_r^s$
...
S	$(y_1)_r^S$	...	$(y_{j'})_r^S$	...	$(y_{j'})_r^S$	$(x_1)_r^S$	...	$(x_j)_r^S$	...	$(x_j)_r^S$

$(x_j)_r^s$, s. KV tarafından j. iç kriter için belirlenen öncelik sırasını ve $(y_j)_r^s$, s. KV tarafından j'. dış kriter için belirlenen öncelik sırasını gösterir.

Adım 5: Her bir KV için öncelik matrislerinin oluşturulması

Bu adımda ilk olarak; her bir KV için iç ve dış kriterlerin öncelik sırası Adım 4'de verilen Tablo 4 kullanılarak $x_{(1)}^s > x_{(2)}^s > \dots > x_{(j)}^s > \dots > x_{(m)}^s$ ve $y_{(1)}^s > y_{(2)}^s > \dots > y_{(j')}^s > \dots > y_{(n)}^s$ şeklinde oluşturulur. $x_{(j)}^s$ ve $y_{(j')}^s$ s. uzman için j. ve j'. sırada yer alan iç ve dış kriteri ifade etmektedir. Daha sonra; iç kriterler için her bir KV'nin öncelik matrisi $[A_X^s]_{m \times m}$ ve dış kriterler için $[A_Y^s]_{n \times n}$ olarak tanımlanır. Bu matrislerin elemanları $(a_{jd})^s$ ve $(a_{j'f})^s$ Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır.

$[A_X^s]_{m \times m}$ ve $[A_Y^s]_{n \times n}$ matrislerinde $j=1,2,\dots,m$ ve $d=1,2,\dots,m$ olmak üzere $x_{jj}=0$, $a_{jd}=1 - a_{dj}$, $y_{j'j'}=0$, $j'=1, 2, \dots, n$, $f=1, 2, \dots, n$ ve $a_{j'f}=1 - a_{fj'}$, $j \neq d$ ve $j' \neq f$ şartları sağlanmaktadır.

$$(a_{jd})^s = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x_{(j)}^s < x_{(d)}^s \\ 1, & \text{eğer } x_{(j)}^s > x_{(d)}^s \end{cases} \quad (4)$$

$$(a_{j'f})^s = \begin{cases} 0, & \text{eğer } y_{(j')}^s < y_{(f)}^s \\ 1, & \text{eğer } y_{(j')}^s > y_{(f)}^s \end{cases}$$

Adım 6: İki farklı sıralama arasındaki uzaklığın hesaplanması

Dış kriterler için t' tane olası matris olduğu durumda $A^{(t)}$ ve $A^{(s)}$ matrisleri tarafından tanımlanan iki farklı sıralama arasındaki uzaklığın ölçümü $\rho_y^1 = \rho(A^{(1)}, A^{(s)})$, Eşitlik (5)'deki gibi hesaplanır. Dış kriterler için aynı adımlar tekrarlanır.

$$\begin{aligned} \rho_y^1 &= \sum_{s=1}^S \sum_{j'=1}^n \sum_{f=1}^n |a_{j'f}^{(1)} - a_{j'f}^{(s)}| \\ \rho_y^2 &= \sum_{s=1}^S \sum_{j'=1}^n \sum_{f=1}^n |a_{j'f}^{(2)} - a_{j'f}^{(s)}| \\ &\vdots \\ \rho_y^{t'} &= \sum_{s=1}^S \sum_{j'=1}^n \sum_{f=1}^n |a_{j'f}^{(t')} - a_{j'f}^{(s)}| \end{aligned} \quad (5)$$

Adım 7: Medyan matrisinin hesaplanması

Eşitlik (6) kullanılarak Eşitlik (5) ile hesaplanan uzaklıkların minimum değeri yani p_x bulunur ve minimum değeri veren matris medyan matrisi olarak kabul edilir. Medyan matrisinde ortaya çıkan kriter sıralaması iç kriterler için medyan öncelikli bileşenler olarak kabul edilir. Böylece Kemeny Medyan Yöntemi ile KV'lerin belirledikleri sıralamalar birleştirilerek; iç kriterler için tek bir öncelik sıralaması belirlenmiş olur. Dış kriterler için benzer adımlar tekrarlanır.

$$p_y = \min(\rho_y^1, \rho_y^2, \dots, \rho_y^{t'}) \quad (6)$$

Eşitlik (6)'yı sağlayan KV s*'ın kriter öncelik sıralaması $x_{(1)}^{s*} > x_{(2)}^{s*} > \dots > x_{(m)}^{s*}$ ve $y_{(1)}^{s*} > y_{(2)}^{s*} > \dots > y_{(n)}^{s*}$ şeklinde ortaya çıkar. Bu sıralamalar iç ve dış kriterlerin nihai öncelik sıralamaları olarak kabul edilir.

Adım 8: Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Bu adımda, Sıralama Uygunluk Göstergesi yöntemi kullanılarak kriterler için ağırlık değerleri belirlenmektedir. İlk olarak; Adım 5'de belirlenen kriterlere ait öncelik sıralamalarına $(x_{(1)}^s > x_{(2)}^s > \dots > x_{(j)}^s > \dots > x_{(m)}^s)$ ve $(y_{(1)}^s > y_{(2)}^s > \dots >$

$y_{(j')}^s > \dots > y_{(n)}^s)$ uygun olarak Eşitlik (7) ve Eşitlik (8)'de gösterilen kriter ağırlıkları sıralaması elde edilir.

$$w_{x_{(1)}}^{s*} \geq w_{x_{(2)}}^{s*} \geq \dots \geq w_{x_{(j)}}^{s*} \geq \dots \geq w_{x_{(m)}}^{s*} \quad (7)$$

$$w_{y_{(1)}}^{s*} \geq w_{y_{(2)}}^{s*} \geq \dots \geq w_{y_{(j')}}^{s*} \geq \dots \geq w_{y_{(n)}}^{s*} \quad (8)$$

Daha sonra, Eşitlik (7) ve Eşitlik (8)'deki sıralamalar dikkate alınarak ve $0 \leq w_{x_j}, w_{y_{j'}} \leq 1$ olmak üzere Eşitlik (9) ve Eşitlik (10)'da gösterildiği gibi toplamları "1" olacak şekilde kriterlere ait ağırlık kombinasyonları belirlenir.

$$w_{x_1} + w_{x_2} + \dots + w_{x_j} + \dots + w_{x_m} = 1 \quad (9)$$

$$w_{y_1} + w_{y_2} + \dots + w_{y_{j'}} + \dots + w_{y_n} = 1 \quad (10)$$

2.3. Önerilen HTEA Tabanlı KEMIRA-M Yöntemi

Önerilen HTEA tabanlı KEMIRA-M entegre yöntemi ile risk değerlendirme süreci 3 aşamadan oluşmaktadır.

Aşama 1: Verilerin toplanması

Aşama 2: HTEA yöntemi ile risk kriterlerinin önceliklerinin belirlenmesi

Aşama 3: KEMIRA-M yöntemi ile risk kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanması.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu uygulama çalışmasında önerilen HTEA tabanlı KEMIRA-M yöntemi kullanılarak acil servisler için risk değerlendirmesi yapılmıştır. Önerilen yöntem 3 aşamada uygulanmıştır.

Aşama 1: Verilerin toplanması

İlk olarak 3 doktor ve 2 hemşireden oluşan 5 KV belirlenmiştir. Daha sonra, literatürdeki yayınlardan faydalanılarak hiyerarşik yapı içerisinde 5 ana kriter ve 34 alt kriter olmak üzere 39 risk kriteri belirlenmiş ve KV'ler tarafından onaylanmıştır ([18], [31], [28], [21], [5]; [33]). Kriterlerin hiyerarşik yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Acil servislerde meydana gelebilecek risklere karşı alınabilecek önlemler;

- Eğitim/seminer (R₁),
- Uyarı levhaları (R₂),
- Çalışma ortamı ergonomik düzenleme (R₃),
- Makine/ekipman kontrol/yenileme (R₄),
- Gerekli sağlık kontrolleri (R₅),
- Güvenlik kameraları/ güvenlik personeli (R₆),
- Kişisel koruyucu donanımların kullanımı (R₇),
- Çalışma şartlarının iyileştirilmesi (R₈)

olarak belirlenmiş ve bu önlemler alternatif olarak ele alınmıştır.

Aşama 2: HTEA ile risk kriterlerinin önceliklerinin belirlenmesi.

Bu aşamada, her bir KV tarafından risk kriterleri O, Ş ve S derecelerine göre Tablo 1-3 kullanılarak değerlendirilmiştir. Daha sonra bu aşamada her KV için RÖS; Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan RÖS değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak KEMIRA-M yönteminde kriterlerin öncelikleri belirlenmiştir. Tablo 5'de her bir KV için belirlenen ana kriterlerin öncelikleri gösterilmiştir.

Aşama 3: KEMIRA-M yöntemi ile risk kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanması

Örnek olarak ana kriterler için KEMIRA-M yöntemi uygulanmıştır. Ana dış kriter grubu; Psikososyal sağlık sorunlarına neden olan riskler (y_1), Güvensiz nöbet ortamı, vardiya ortamı ve iletişimle ilgili riskler (y_2), Alerji ve enfeksiyon ile ilgili riskler (y_3) ve ana iç kriter grubu; Ergonomik riskler (x_1), Tıbbi cihaz, malzeme, araç ve gereç bağlantılı riskler (x_2) olarak sınıflandırılmıştır.

Adım 1: Başlangıç karar matrisinin oluşturulması

Eşitlik (2) kullanılarak Tablo 6’de gösterildiği gibi başlangıç karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 6. Ana Kriterler İçin Başlangıç Karar Matrisi

Alternatifler	Dış Kriterler i (i=1,..., K)			İç Kriterler i (i=1,..., K)	
	$y_1^{(i)}$	$y_2^{(i)}$	$y_3^{(i)}$	$x_1^{(i)}$	$x_2^{(i)}$
R ₁	5	3	3	3	7
R ₂	1	5	1	5	7
R ₃	1	1	5	7	5
R ₄	3	1	1	3	7
R ₅	7	1	3	5	3
R ₆	3	7	1	1	1
R ₇	1	3	9	7	5
R ₈	7	7	3	5	3

Adım 2: Matrisin normalize edilmesi

Eşitlik (3) kullanılarak matris normalize edilmektedir. Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Ana Kriterler İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Alternatifler	Dış Kriterler i (i=1,..., K)			İç Kriterler i (i=1,..., K)	
	$y_1^{(i)*}$	$y_2^{(i)*}$	$y_3^{(i)*}$	$x_1^{(i)*}$	$x_2^{(i)*}$
R ₁	0,417	0,250	0,257	0,217	0,476
R ₂	0,083	0,417	0,086	0,361	0,476
R ₃	0,083	0,083	0,429	0,505	0,340
R ₄	0,250	0,083	0,086	0,217	0,476
R ₅	0,583	0,083	0,257	0,361	0,204
R ₆	0,250	0,583	0,086	0,072	0,068
R ₇	0,083	0,250	0,772	0,505	0,340
R ₈	0,583	0,583	0,257	0,361	0,204

Adım 3: HTEA yönteminde belirlenen önceliklere göre kriter önceliklerinin düzenlenmesi

Tablo 8’de gösterildiği gibi kriter öncelikleri oluşturulmuştur.

Tablo 8. Ana Kriterler İçin Kriter Öncelikleri

Kriter	Dış Kriterler i (i=1,..., K)			İç Kriterler i (i=1,..., K)	
	$y_1^{(i)}$	$y_2^{(i)}$	$y_3^{(i)}$	$x_1^{(i)}$	$x_2^{(i)}$
KV_s					
KV ₁	3	1	2	2	1
KV ₂	3	1	2	2	1
KV ₃	3	2	1	2	1
KV ₄	2	1	3	2	1
KV ₅	2	1	3	2	1

Adım 4: Uzman sıralamalarına göre öncelik kriteri matrislerinin oluşturulması

İlk olarak Tablo 9’da gösterildiği gibi her bir KV için kriter öncelikleri oluşturulmuştur.

Tablo 9. Her Bir KV İçin Kriter Öncelikleri

KV_s	Dış Kriterler	İç Kriterler
KV ₁	$y_2^{(i)} > y_3^{(i)} > y_1^{(i)}$	$x_2^{(i)} > x_1^{(i)}$
KV ₂	$y_2^{(i)} > y_3^{(i)} > y_1^{(i)}$	$x_2^{(i)} > x_1^{(i)}$
KV ₃	$y_3^{(i)} > y_2^{(i)} > y_1^{(i)}$	$x_2^{(i)} > x_1^{(i)}$
KV ₄	$y_2^{(i)} > y_1^{(i)} > y_3^{(i)}$	$x_2^{(i)} > x_1^{(i)}$
KV ₅	$y_2^{(i)} > y_1^{(i)} > y_3^{(i)}$	$x_2^{(i)} > x_1^{(i)}$

Ana dış kriterler için hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

Eşitlik (4) kullanılarak uzman sıralamalarına göre öncelik kriteri matrisleri oluşturulmuştur.

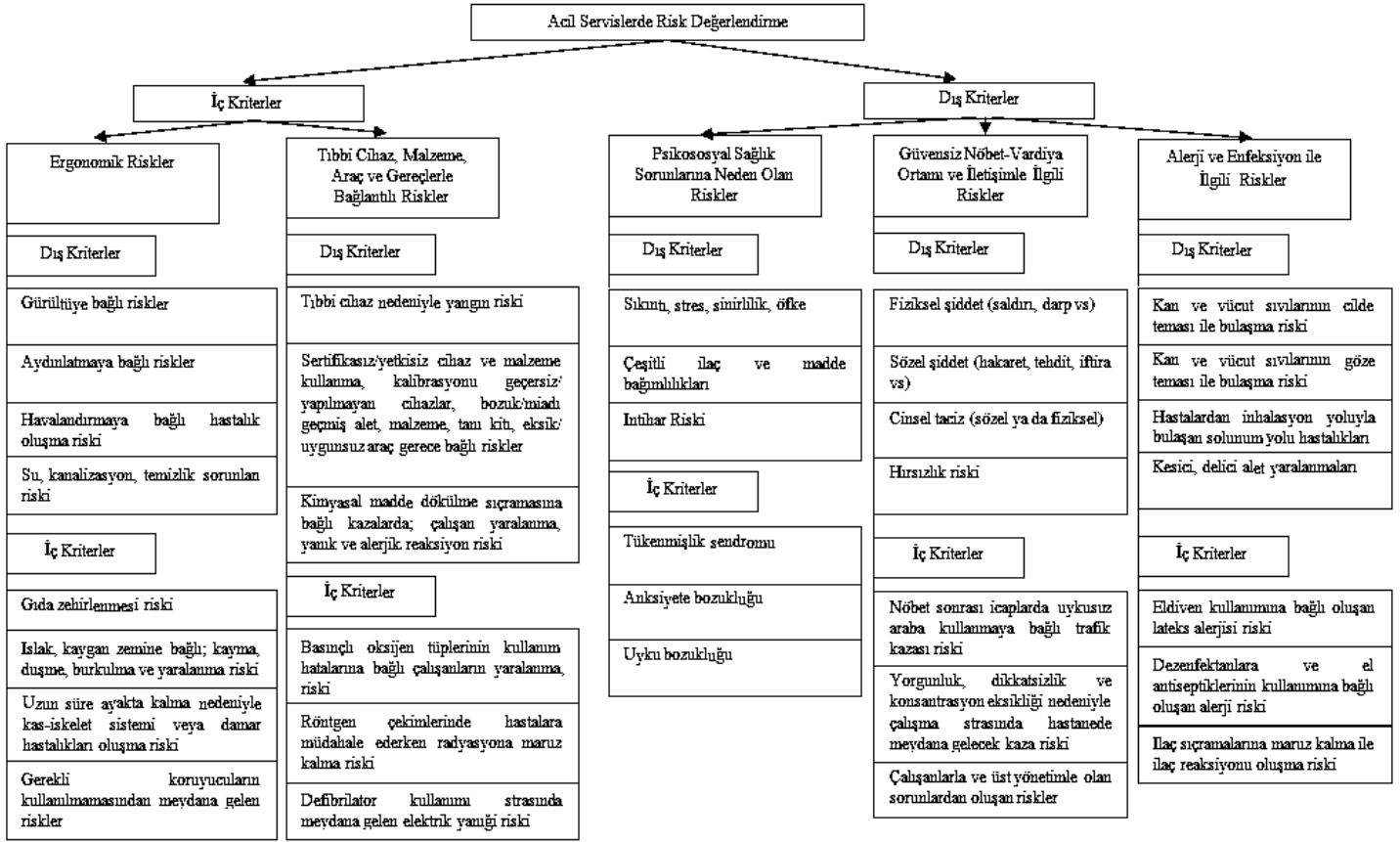
$$[A_y^{(1)}]_{3 \times 3} = [A_y^{(2)}]_{3 \times 3} = y_2^{(i)} > y_3^{(i)} > y_1^{(i)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[A_y^{(3)}]_{3 \times 3} = y_3^{(i)} > y_2^{(i)} > y_1^{(i)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[A_y^{(4)}]_{3 \times 3} = [A_y^{(5)}]_{3 \times 3} = y_2^{(i)} > y_1^{(i)} > y_3^{(i)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Adım 5: Kriterlere göre muhtemel matrislerin oluşturulması

Eşitlik (4) kullanılarak muhtemel seçenekler için öncelik kriteri matrisleri oluşturulmaktadır. 5 uzman tarafından belirlenen öncelik matrisleri yukarıda gösterildiği gibidir. Ancak n=3 olduğundan medyan matrisi 3!=6 olası matris arasından araştırılacaktır. 6 matris Tablo 10’da gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Kriterlerin Hiyerarşik Yapısı

Tablo 5. HTEA Yöntemi İle Ana Kriterlerin Önceliklendirilmesi

	Olasılık					Şiddet					Saptanabilirlik					RÖS				
	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅
DIŞ KRİTERLER																				
Psikososyal Sağlık Sorunlarına Neden Olan Riskler (y ₁)	5	6	7	9	5	5	4	4	6	6	4	5	6	6	5	100	120	168	324	150
Güvensiz Nöbet Ortamı, Vardiya Ortamı ve İletişimle İlgili Riskler(y ₂)	6	5	5	8	5	8	6	5	7	6	8	9	8	7	6	384	270	200	392	180
Alerji ve Enfeksiyon ile İlgili Riskler(y ₃)	7	5	6	6	4	6	4	5	3	3	6	8	7	8	6	252	160	210	144	72
İÇ KRİTERLER																				
Ergonomik Riskler(x ₁)	5	5	6	4	5	6	5	5	5	4	4	3	3	4	3	120	75	90	80	60
Tıbbi Cihaz, Malzeme, Araç ve Gereç Bağlantılı Riskler(x ₂)	4	4	5	3	3	6	7	7	7	6	8	7	6	8	5	192	196	210	168	90

Tablo 10. Olası Seçenekler İçin Öncelik Kriteri Matrisleri, Dış Kriterler ve ρ_y^i Değerleri

		KV_s		KV_s
Permütasyon	(1,2,3)	-	(1,3,2)	-
	$y_1 > y_2 > y_3$		$y_1 > y_3 > y_2$	
A matrisi	$[A_y^{(1)}]_{3 \times 3}$ = $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$		$[A_y^{(2)}]_{3 \times 3}$ = $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	
ρ	$\rho_y^8 = 18$		$\rho_y^6 = 24$	
Permütasyon	(2,1,3)	KV ₄ = KV ₅	(2,3,1)	KV ₁ = KV ₂
	$y_2 > y_1 > y_3$		$y_2 > y_3 > y_1$	
A matrisi	$[A_y^{(3)}]_{3 \times 3}$ = $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$		$[A_y^{(4)}]_{3 \times 3}$ = $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	
ρ	$\rho_y^{4,5} = 8$		$\rho_y^{1,2} = 6$	
Permütasyon	(3,1,2)	-	(3,2,1)	KV ₃
	$y_3 > y_1 > y_2$		$y_3 > y_2 > y_1$	
A matrix	$[A_y^{(5)}]_{3 \times 3}$ = $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$		$[A_y^{(6)}]_{3 \times 3}$ = $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	
ρ	$\rho_y^7 = 22$		$\rho_y^3 = 12$	

Adım 6: İki farklı sıralama arasındaki uzaklığın hesaplanması

Eşitlik (5) kullanılarak oluşturulan iki farklı sıralama arasındaki uzaklıklar hesaplanmaktadır.

$$\rho_y^1 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^1, A^{(s)}) = 0+0+2+2+2=6$$

$$\rho_y^2 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^2, A^{(s)}) = 0+0+2+2+2=6$$

$$\rho_y^3 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^3, A^{(s)}) = 2+2+0+4+4=12$$

$$\rho_y^4 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^4, A^{(s)}) = 2+2+4+0+0=8$$

$$\rho_y^5 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^5, A^{(s)}) = 2+2+4+0+0=8$$

$$\rho_y^6 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^6, A^{(s)}) = 6+6+4+4+4=24$$

$$\rho_y^7 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^7, A^{(s)}) = 4+4+2+6+6=22$$

$$\rho_y^8 = \sum_{s=1}^5 \rho(A^8, A^{(s)}) = 4+4+6+2+2=18$$

Adım 7: Medyan matrisinin hesaplanması

Eşitlik (6) kullanılarak medyan matrisi hesaplanmaktadır. Minimum toplam değer olan 6 değerine A¹ ve A² matrislerinde

ulaşmıştır. Bu da dış faktörler arasında en iyi olan medyan değeri $KV_1=KV_2=(2,3,1)$ yani $y_2^{(i)} > y_3^{(i)} > y_1^{(i)}$ dir.

Adım 8: Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Eşitlik (8) ve Eşitlik (10) kullanılarak kriter ağırlıkları Tablo 11'deki gibi bulunmuştur. Tablo 11'e bakıldığında en önemli ana dış kriter grubu güvensiz nöbet-vardiya ortamı ve iletişimle ilgili riskler olarak belirlenirken; en önemli ana iç kriter grubu ise tıbbi cihaz, malzeme, araç ve gereçlerle bağlantılı riskler ile ergonomik riskler olarak ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte; alt dış kriterlerden en önemli kriterler tıbbi cihaz nedeniyle yangın riski, kimyasal madde dökülme, sıçramasına bağlı kazalarda çalışan yaralanma, yanık ve alerjik reaksiyon riski, fiziksel şiddet ve sözel şiddet iken en önemli alt iç kriter ise uzun süre ayakta kalma nedeniyle, kas- iskelet sistemi veya damar hastalıkları oluşma riski olarak belirlenmiştir. Eğitim ve seminerler, çalışma ortamının ergonomik açıdan düzenlenmesi, kişisel koruyucu donanımların kullanılması ve çalışma şartlarının iyileştirilmesi önlemleri de ilk sırada alınması gereken önlemler olarak belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada acil servislerde risk değerlendirmesi için HTEA tabanlı KEMIRA-M yöntemi önerilmiştir. KEMIRA-M yönteminde kriter öncelikleri aşamasında HTEA yöntemi kullanılarak KEMIRA-M yöntemi geliştirilmiştir. Kriter öncelikleri geçerliliği bilinen skalalara bağlı olarak hesaplanan RÖS değeri ile belirlenerek KV'lerden kaynaklanan subjektiflik azaltılmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte acil servislerde sağlık personelinin verimliliğini ve iş sağlığını etkileyen en önemli risk kriterleri ortaya çıkarılmıştır.

Önerilen HTEA tabanlı KEMIRA-M entegre yöntemi insan duygusu ve düşüncelerinden, çalışma ortamından ve eksik verilerden kaynaklanan belirsizliklerinde risk değerlendirmede dikkate alınması için bulanık küme teorisi kullanılarak yeniden modellenilebilir. KEMIRA-M yönteminde başlangıç aşamasında kriter önceliklerinin belirlenmesi ve daha sonraki aşamalarda kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ortaya çıkan subjektifliğin azaltılması için farklı yöntemlerle entegre edilebilir. KEMIRA-M yöntemiyle alternatiflerin sıralaması yapılabilir. Son olarak HTEA yöntemi yerine farklı risk değerlendirme yöntemleri kullanılabileceği öngörülmektedir.

5. Teşekkür

Karar vericilere ve hastane personeline desteklerinden dolayı çok teşekkür ederiz.

Tablo 11. HTEA Tabanlı KEMIRA-M Yöntemi ile Bulunan Ana ve Alt Kriter Ağırlıkları

	Ana Kriter Ağırlığı	Ana Kriter Ağırlığı Normalize	Alt Kriter Ağırlığı	Alt Kriter Ağırlığı Normalize	Alt Kriter Global Ağırlığı
ANA-DIŞ KRİTERLER					
Psikososyal Sağlık Sorunlarına Neden Olan Riskler	0,300	0,150			
Alt Dış Kriterler					
Sıkıntı, stres, sinirlilik, öfke			0,500	0,250	0,038
Çeşitli ilaç ve madde bağımlılıkları			0,000	0,000	0,000
İntihar riski			0,500	0,250	0,038
Alt İç Kriterler					
Tükenmişlik sendromu			0,300	0,150	0,023
Anksiyete bozukluğu			0,300	0,150	0,023
Uyku bozukluğu			0,400	0,200	0,030
Genel Toplam			2,000	1,000	
Güvensiz Nöbet-Vardiya Ortamı ve İletişimle İlgili Riskler	0,400	0,200			
Alt Dış Kriterler					
Fiziksel şiddet			0,500	0,250	0,050
Sözel şiddet			0,500	0,250	0,050
Cinsel taciz			0,000	0,000	0,000
Hırsızlık Riski			0,000	0,000	0,000
Alt İç Kriterler					
Nöbet sonrası icaplarda uykusuz araba kullanmaya bağlı trafik kazası riski			0,500	0,250	0,050
Yorgunluk, dikkatsizlik ve konsantrasyon eksikliği nedeniyle çalışma sırasında hastanede meydana gelebilecek kaza riski			0,000	0,000	0,000
Çalışanlarla ve üst yönetimle olan oluşan riskler			0,500	0,250	0,050
Alerji Ve Enfeksiyon İle İlgili Riskler	0,300	0,150			
Alt Dış Kriterler					
Kan ve vücut sıvılarının cilde teması ile bulaşma riski			0,200	0,100	0,015
Kan ve vücut sıvılarının göze teması ile bulaşma riski			0,200	0,100	0,015
Hastalardan inhalasyon yoluyla bulaşan solunum yolu hastalıkları			0,300	0,150	0,023
Kesici, delici alet yaralanmaları			0,300	0,150	0,023
Alt İç Kriterler					
Eldiven kullanımına bağlı oluşan lateks alerjisi riski			0,400	0,200	0,030
Dezenfektanlara ve el antiseptiklerinin kullanımına bağlı oluşan alerji riski			0,300	0,150	0,023
İlaç sıçramalarına maruz kalma ile ilaç reaksiyonu oluşma riski			0,300	0,150	0,023
ANA-İÇ KRİTERLER					
Ergonomik Riskler	0,500	0,250			
Alt Dış Kriterler					
Gürültüye bağlı riskler			0,300	0,150	0,038
Aydınlatmaya bağlı riskler			0,300	0,150	0,038
Havalandırmaya bağlı hastalık oluşma riski			0,300	0,150	0,038
Su, kanalizasyon ve temizlik sorunları riski			0,100	0,050	0,013
Alt İç Kriterler					
Gıda zehirlenmesi riski			0,100	0,050	0,013
Islak, kaygan zemine bağlı; kayma, düşme, burkulma ve yaralanma riski			0,200	0,100	0,025
Uzun süre ayakta kalma nedeniyle, kas- iskelet sistemi			0,500	0,250	0,063

veya damar hastalıkları oluşma riski					
Gerekli koruyucuların kullanılmamasından meydana gelen riskler			0,200	0,100	0,025
Tıbbi Cihaz, Malzeme, Araç Ve Gereç Bağlantılı Riskler	0,500	0,250			
Alt Dış Kriterler					
Tıbbi cihaz nedeniyle yangın riski			0,400	0,200	0,050
Sertifikasız/ yetkisiz cihaz ve malzeme kullanma vs. ile ilgili riskler			0,200	0,100	0,025
Kimyasal madde dökülme, sıçramasına bağlı kazalarda; çalışan yaralanma, yanık ve alerjik reaksiyon riski			0,400	0,200	0,050
Alt İç Kriterler					
Basınçlı oksijen tüplerinin kullanım hatalarına bağlı çalışanların yaralanma riski			0,300	0,150	0,038
Röntgen çekimlerinde hastalara müdahale ederken radyasyona maruz kalma riski			0,400	0,200	0,050
Defibrilatör kullanımı sırasında meydana gelen elektrik yanığı riski			0,300	0,150	0,038

Kaynakça

- [1] Aksay, K. and Orhan, F. (2013). Hastanelerde inovasyon sürecinin risk yönetimi bağlamında değerlendirilmesi: bir model önerisi. Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2(3), 10-23.
- [2] Aksay, K., Orhan, F. and Kurutkan, M. N., (2012). Sağlık hizmetlerinde bir risk yönetimi tekniği olarak fmea: laboratuvar sürecine yönelik bir uygulama. Sağlıkta Performans Ve Kalite Dergisi, 4(2), 121-142.
- [3] Arslan, N. and Delice, E.K., (2020). KEMIRA-M yöntemi ile kişisel kullanıcılar için drone seçimi: bir uygulama. Endüstri Mühendisliği 31(2), 159-179.
- [4] Arslan, N., (2020). HTEA Tabanlı Fucom & Kemira-M Entegre Yöntemi İle Sağlık Sektöründe Risk Değerlendirme. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [5] Beşer, A., (2012). Sağlık çalışanlarının sağlık riskleri ve yönetimi. Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Elektronik Dergisi, 5 (1), 39-44.
- [6] Bol, P., Gül, G. and Erbaycu A. E., (2013). Hasta-hekim iletişimindeki eksiklik ve hataların ortaya konmasında FMEA model analizinin katkısı. İzmir Göğüs Hastanesi Dergisi, XXVII(3), 181-191.
- [7] Carter, A. J. E., Gould, J. B., Vanberkel, P., Jensen, J. L., Cook, J., Carrigan, S., Wheatley, M.R. and Travers, A. H., (2015). Offload zones to mitigate emergency medical services (EMS) offload delay in the emergency department: a process map and hazard analysis. Canadian Journal of Emergency Medicine (CJEM), 17(6), 670-678.
- [8] Delice, E. and Can, G. F., (2020). A new approach for ergonomic risk assessment integrating KEMIRA, best_worst and MCDM methods. Methodologies and Application.
- [9] Delice, E.K. and Zegerek, S., (2016). Ranking occupational risk levels of emergency departments using a new fuzzy mcdm model: a case study in Turkey. Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal, 10(6), 2345-2356.
- [10] Demirkan, C. B., (2015). Sağlık Hizmetleri Sektöründe Risk Değerlendirmesi: Hastane Merkez Laboratuvarı Örneği. Uzmanlık Tezi, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Edirne
- [11] Habli, I., Jia, Y., White, S., Gabriel, G., Lawton, T., Sujan, M. and Tomsett, C., (2019). Development and piloting of a software tool to facilitate proactive hazard and risk analysis of health information technology. Health Informatics Journal, 00(0), 1-20.
- [12] Kırılmaz, H., Yorgun, S. and Atasoy, A., (2016). Sağlık çalışanlarında psikososyal risk faktörlerini belirlemeye yönelik bir araştırma. International Journal of Cultural and Social Studies (IntJCSS), 2(SI 1), 66-82.
- [13] Kış, Ö., Can, G. F. ve Toktaş, P., (2020). Warehouse location selection for an electricity distribution company by KEMIRA-M method. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1), 227-240.
- [14] Kosareva, N., Zavadskas, E.K., Krylovas, A. ve Dadelo S., (2016). Personnel ranking and selection problem solution by application of KEMIRA method. International Journal of Computers Communications & Control, 11(1), 51-66.
- [15] Krylovas, A., Zavadskas, E. K. and Kosareva, N., (2016). Multiple criteria decision-making KEMIRA-M method for solution of location alternatives. Economic Research, 29(1), 50-65.
- [16] Krylovas, A., Dadelo, S., Kosareva, N. and Zavadskas, E. K., (2017). ENTROPY-KEMIRA approach for mcdm problem solution in human resources selection task. International Journal of Information Technology & Decision Making, 16(05), 1183-1209.
- [17] Krylovas, A., Kosareva, N. and Zavadskas E.K., (2016). Statistical analysis of KEMIRA type weights balancing methods. Romanian Journal of Economic Forecasting, XIX (3), 19-39.
- [18] Özkan, Ö., (2005). Hastanede Çalışan Hemşirelerin İş ve Çalışma Ortamı Tehlike ve Riskleri ile Risk Algılarını Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] Özkılıç, Ö., (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, 219, Türkiye.
- [20] Pakdil, F., Toktaş, P. and Can, G. F., (2021). Six sigma project prioritization and selection: a multi- criteria decision making approach in healthcare industry. International Journal of Lean Six Sigma, 12(3), 553-578.

- [21]Parlar, S., (2008). Sağlık çalışanlarında göz ardı edilen bir durum: sağlıklı çalışma ortamı. TAF Preventive Medicine Bulletin, 7(6), 547-54.
- [22]Redfern, E., Brown, R. and Vincent, C. A., (2009). Improving communication in the emergency department. Emerg Med J, 26(9), 658–661.
- [23]Sarıçalı, G. and Kundakçı, N., (2017). Forklift alternatiflerinin KEMIRA-M yöntemi ile değerlendirilmesi. Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 4(1), 35-53.
- [24]Sarıçalı, G., (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden KEMIRA-M ve COPRAS Yöntemlerinin Mermer İşletmesinde Makine Seçim Sürecine Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- [25]Şimşir, F., Demir, H. İ. and Azdemir, S., (2018). Demir çelik sektöründe hibrid DEMATEL ve TOPSIS-ELECTRE yöntemleri ile hata türleri ve etkileri analizi. Academic Platform Journal of Engineering and Science 6(3), 22-34.
- [26]Sorrentino, P., (2016). Use of failure mode and effects analysis to improve emergency department handoff processes. Clinical Nurse Specialist, Jan-Feb; 30(1), 28-37.
- [27]Southard, P. B., Kumar, S. and Southard, C. A., (2011). A modified DELPHI methodology to conduct a failure modes effects analysis: a patient-centric effort in a clinical medical laboratory. Quality Management in Health Care 20(2), 131-151.
- [28]Taşçıoğlu, İ., (2007). Lüleburgaz Devlet Hastanesi ve Lüleburgaz 82. Yıl Devlet Hastanelerinde İş ve Çalışma Ortamından Kaynaklanan Riskler ve Bu Riskleri Hemşirelerin Algılama Düzeylerinin Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [29]Toktaş, P. and Can, G. F., (2019). Stochastic KEMIRA-M approach with consistent weightings. International Journal of Information Technology & Decision Making, 18(03),793-831.
- [30]Toktaş, P. and Can, G. F., (2018). Şantiyelerin iş sağlığı ve güvenliği açısından risk düzeylerine göre KEMIRA-M yöntemi ile sıralanması. Ergonomi, 1(3), 123 – 136.
- [31]Turhan, F., (2006). Baskent Üniversitesi Hastanesi Çalışanlarının Mesleksi Risk Faktörleri ve Davranışlarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [32]Yıldırım, B. F. and Önder, E., (2015). Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. DORA Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 338, Bursa.
- [33]Zegerek, S., (2014). Acil Servislerde Bulanık DEMATEL ve Bulanık GIA Yöntemleri ile Çok Kriterli Risk Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.



Bulanık FUCOM Metodu ile Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Merve Ceren Taşkent¹, Elif Kılıç Delice^{2*}

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0001-6508-5568), mctaskent@gmail.com

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-3051-0496), elif.kdelice@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011756)

ATIF/REFERENCE: Taşkent, M.C., Delice, E.K. (2021). Bulanık FUCOM Metodu ile Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 863-868.

Öz

E-ticaret ile birlikte firmaların ulaşabileceği pazar alanı uluslararası alana taşınmış ve bu durum firmaları, rekabet ortamında başarılı olabilmek için çeşitli iyileştirme çalışmalarını gerçekleştirmeye itmiştir. Bu iyileştirme çalışmalarından bir tanesi tedarik zinciri ağı içerisinde yer alan ve tedarik zinciri sürecini başlatan tedarikçilerdir. Tedarikçiler ürünün kalitesini, üretim süresini, üretim maliyetini ve hatta nihai ürünün son müşteriye teslimine kadar olan süreci doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple işletmeler için uygun tedarikçileri seçmek veya mevcut tedarikçilerin performanslarını değerlendirmek için çaba göstermektedirler. Tedarikçi seçim ve değerlendirme sürecinde kullanılacak kriterler ve bu kriterlerin önem ağırlıklarının son derece etkilidir. Bu çalışmada, tedarikçi seçim sürecinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için bulanık Full Consistency Method (FUCOM) metodu kullanılmıştır. Literatürde genellikle karar vericilerin subjektif değerlendirmelerine bağlı olarak Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile uygun kriter ağırlıkları belirlenmekte ve kesin sonuçlar elde edilememektedir. Bu çalışmada ise Bulanık FUCOM metodu ile subjektif değerlendirmeler kullanılarak optimal kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Dekoratif taş sağlayıcısı bir firmanın mevcut tedarikçilerinin değerlendirilmesi üzerine bir uygulama çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık FUCOM, Tedarikçi Değerlendirmesi, Kriter Ağırlıklandırması.

Determination the Weight of Supplier Evaluation Criteria with Fuzzy FUCOM Method

Abstract

With e-commerce, the market area that companies can reach has been moved to the international arena and this situation has pushed companies to carry out various improvement studies in order to be successful in the competitive environment. One of these improvement efforts is the suppliers that are in the supply chain network and start the supply chain process. Suppliers directly affect the quality of the product, production time, production cost and even the process until the delivery of the final product to the end customer. For this reason, they strive to select suitable suppliers for businesses or to evaluate the performance of existing suppliers. The criteria to be used in the supplier selection and evaluation process and the importance weights of these criteria are extremely effective. In this study, the fuzzy Full Consistency Method (FUCOM) method was used to determine the criterion weights in the supplier selection process. In the literature, appropriate criteria weights are determined by Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, depending on the subjective evaluations of decision makers, and definite results cannot be obtained. In this study, the optimal criterion weights were determined by using the fuzzy FUCOM method and subjective evaluations. An application study was conducted on the evaluation of the existing suppliers of a decorative stone supplier company.

Keywords: Fuzzy FUCOM, Supplier Evaluation, Criteria Weighting.

* Sorumlu Yazar: elif.kdelice@atauni.edu.tr

1. Giriş

Teknolojik gelişmeler ile birlikte istenilen ürün veya hizmete ulaşımın kolaylaşması küreselleşme kavramını ortaya koyarak firmaların yerel pazardan uluslararası pazara geçişini sağlamıştır. Bu şekilde firmalar ulaşabilecekleri maksimum müşteri kapasitenin dışına çıkarak uluslararası pazarda yer edinme için marka değerlerini iyileştirme çalışmalarına özen göstermişlerdir. Bu iyileştirme alanlarından bir tanesi tedarik zinciri yönetimidir. Tedarik zinciri yönetimi içerisindeki konular incelendiğinde bunların doğrudan tedarikçi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Artan müşteri sayısı ile tedarikçi sayısı sonucu uygun tedarikçinin seçimi veya mevcut tedarikçilerinin performansının değerlendirilmesi firmalar için önemli bir karar problemi olarak görülmektedir [33].

Tedarikçi seçim veya değerlendirme süreci yalnızca en iyi fiyat ile en iyi teslimatı sunan tedarikçiyi bulmanın ötesinde, optimal faydayı sağlayacak tedarikçiyi kapsamaktadır. Optimal fayda değeri tedarikçi seçiminde tedarikçinin performansının ölçüsüdür ve bu değeri etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurlara teslimat performansı, geçmiş performansı, garanti ve sistem politikaları, üretim tesisleri ve kapasitesi, fiyat, teknik yeterlilik, sektördeki finansal pozisyon, prosedürel uyum, iletişim vs. örnek verilebilir [7].

Tedarikçi seçimi veya değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde 1960'lı yıllardan bu yana var olduğu görülmektedir [2]. Literatürde tedarik seçimi ile ilgili yapılan ilk çalışmalardan biri Dickson tarafından yapılmış ve bu çalışmada tedarikçi değerlendirmesinde önemli görülen 23 adet kriter belirlemiştir [7]. Dickson'ın tanımladığı bu kapsamlı kriterler günümüzde yapılan bir çok çalışmada ve işletmeler tarafından tedarikçi seçiminde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda tedarikçi seçimi veya değerlendirilmesi konusunda en fazla kullanılan ortak kriterin kalite kriteri olduğu gözlenmiştir. Kalite kriterini sırasıyla teslimat ve maliyet kriterleri takip etmiştir. Buna ek olarak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda, tedarikçinin teknik yeterliliği değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Ayrıca çalışmalar içinde aynı kriterlerin işletmenin yer aldığı sektöre göre özel tanımları ile kullanıldığı gözlenmektedir.

Belirsiz bir ortamda birbiri ile çelişen kriterlerin olması ve bu kriterlere bağlı olarak birden fazla alternatif içinden seçim yapılması nedeni ile araştırmacılar tarafından bulanık Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri tedarikçi seçim probleminin çözümünde sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda ÇKKV yöntemlerinden olan AHP, ANP, DEMATEL yöntemleri sıklıkla kullanılırken PROMETHEE I-II, TOPSIS, DEA yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalara da rastlanmaktadır. Ayrıca belirsizlik ve az veri içeren tedarikçi seçim problemlerinde bulanık küme teorisi ve gri teori tabanlı çözüm yaklaşımlarının, hedef programlama gibi matematiksel modelleme tekniklerinin ve BWM gibi yeni yöntemlerin de tercih edildiği görülmektedir. Ayrıca otomotiv, saat, gübre, havayolu, gıda, elektronik, inşaat ve petrol&kimya gibi birçok sektörde tedarikçi seçiminde ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca yeşil tedarikçiler ile sürdürülebilir tedarikçi seçimi konularının ele alındığı ve ÇKKV yöntemlerinin kullanılarak tedarikçi seçimi için karar destek sistemlerinin geliştirildiği çalışmalarda literatürde mevcuttur ([1], [2], [4], [6], [9], [11]- [22], [24], [26], [29], [30], [32],[33]).

Bu çalışmada oldukça yeni bir yöntem olan bulanık Full Consistency Method (FUCOM) yöntemi, dekoratif taş sağlayıcısı

bir firmanın karar vericilerinin sübjektif değerlendirmelerine dayanarak, tedarikçi seçimi veya değerlendirilmesinde optimal kriter ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Bulanık FUCOM yöntemi kriterler arasındaki tutarlılıkları dikkate alarak kriter ağırlıklarının belirlenmesini sağlamaktadır. Literatür taraması sonucunda, tedarikçi seçiminde veya değerlendirilmesinde bulanık FUCOM metodunun kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bulanık FUCOM, Pamučar ve arkadaşları tarafından 2020'nin başlarında sunulmuştur [27]. Bu sebeple tedarikçi seçimi veya değerlendirilmesi konusunda oldukça az çalışma bulunmaktadır. Genel olarak FUCOM yönteminin bu alanda yapılan çalışmalarında inşaat firmasında sürdürülebilir tedarikçi seçiminde, kireç üretim tesisinde sürdürülebilir tedarikçi seçiminde, güneş panellerinin kurulumu için en uygun sağlayıcı firmanın seçiminde, Bosna Hersek'teki bir ahşap üretim firması için tedarikçi seçiminde, sürdürülebilir tedarik zinciri yöntemi kriterleri ile tedarikçi seçiminde kullanıldığını görülmektedir ([3], [8], [10], [23], [27], [31]).

Çalışmanın ikinci bölümünde bulanık FUCOM metodundan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde bu metod kullanılarak yapılan uygulama anlatılmıştır. Son bölümde sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bulanık FUCOM

FUCOM yöntemi Pamučar et al.(2018) tarafından önerilen yeni bir ÇKKV yöntemidir. Yöntem karar vericinin önceliklerini temel olarak hem nicel hem de nitel verilerin değerlendirilebilmesi açısından ağırlıklandırma yöntemleri arasında dikkat çekmektedir. Bulanık FUCOM ilk olarak Pamučar ve arkadaşları tarafından 2020'nin başlarında kullanılmıştır [27]. Yine 2020 yılında, çalışmada yöntemde iyileştirmeler gerçekleştirilmiş ve nihai uygulama adımları oluşturulmuştur [26].

Bulanık FUCOM yönteminin adımları aşağıda açıklanmıştır ([26], [28], [33]).

Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi

İlk adım karar kriterlerini belirlemektir. Burada kriter sayısı j 1'den n 'e kadar ($j=\{1,2,3,\dots,n\}$) olup her bir kriter değeri için $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ belirlenir.

Adım 2: Kriterlerin Sıralanması ve Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması

Belirlenen değerlendirme kriterleri karar verici (KV) tarafından sıralanır. Sıralama, kriterlerin önemine göre yani en yüksek ağırlık katsayısına sahip olması beklenen kriterden, en düşük ağırlık katsayısına sahip olan kriterlere göre yapılmaktadır.

$$C_{j(1)} > C_{j(2)} > \dots > C_{j(k)} \quad (1)$$

Burada $C_{j(k)}$, $j=\{1,2,\dots,n\}$ kriteri gösterirken k , C_j kriterlerinin karar verici için sırasını temsil eder. Eğer arada eşitlik varsa “=” işareti konur.

Üçgensel bulanık sayı operatörleri ile işlem yapılmıştır [5]. Sıralanan kriterlerin bir karşılaştırması yapılır ve karşılaştırmalı öncelik vektörleri $\varphi_{(k/k+1)}$ oluşturulur. Burada $\varphi_{(k/k+1)}$ k.

sıralamaya sahip kriterin (k+1). sıralamaya sahip kriterlere olan üstünlük değerini ifade eder.

$$\Phi = (\varphi_{(1/2)}, \varphi_{(2/3)}, \dots, \varphi_{(k/(k+1))}) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{(k/(k+1))} &= \frac{\varpi_{C_j(k)}}{\varpi_{C_j(k+1)}} \\ &= \frac{\varpi_{C_j^l(k+1)}, \varpi_{C_j^m(k+1)}, \varpi_{C_j^u(k+1)}}{\varpi_{C_j^l(k)}, \varpi_{C_j^m(k)}, \varpi_{C_j^u(k)}} \end{aligned} \quad (3)$$

Burada, $\varpi_{C_j(k)}$ k.sıralamadaki j. olarak belirlenen kriterin önem derecesini göstermektedir.

Adım 3: Optimum bulanık ağırlıkların hesaplanması.

Bu son adımda kriterlerin nihai ağırlığı elde edilir. Bu ağırlık değerleri elde edilirken aşağıdaki iki koşulu sağlamalıdır:

Kriterlerin önem katsayılarının oranının ($\frac{w_k}{w_{(k+1)}}$), Adım 2'de kriterler için tanımlanan karşılaştırmalı öncelik vektörüne ($\varphi_{k/(k+1)}$) eşit olması; yani, aşağıdaki Eşitlik(4)'ü sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{w_k}{w_{(k+1)}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (4)$$

Eşitlik(4)'e ek olarak, ağırlık katsayılarının nihai değerleri matematiksel geçişlilik koşulunu karşılamalıdır. Eşitlik(5) ve Eşitlik(6) yardımıyla, gerekli olan bir diğer koşul, Eşitlik(7) oluşturulur.

$$\frac{w_k}{w_{(k+2)}} = \frac{w_k}{w_{(k+1)}} \otimes \frac{w_{(k+1)}}{w_{(k+2)}} \quad (5)$$

$$\frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+2)}} = \frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+1)}} \otimes \frac{\varphi_{(k+1)}}{\varphi_{(k+2)}} \quad (6)$$

$$\frac{w_k}{w_{(k+2)}} = \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \quad (7)$$

Yukarıda belirtilen Eşitlik(4) ve Eşitlik(5) sağlandığında maksimum tutarlılık gerçekleşir. Bu durumda DMC (Deviation from maximum Consistency) denilen tam tutarlılıktan sapma katsayısının değeri minimum olur. Eşitlik(8)'de verilen matematiksel model çözülerek nihai ağırlıkların ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$) son değerleri ve DMC değeri, χ elde edilerek kriter ağırlıkları tahsis edilir.

min χ
s.t.

$$\left\{ \begin{aligned} & \left| w_{j(k)} - w_{(j)(k+1)} \otimes \frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+1)}} \right| \leq \chi, \forall j \\ & \left| w_{j(k)} - w_{(j)(k+2)} \otimes \frac{\varphi_k}{\varphi_{(k+1)}} \otimes \frac{\varphi_{(k+1)}}{\varphi_{(k+2)}} \right| \leq \chi, \forall j \\ & \sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall j \\ & w_j^l \leq w_j^m \leq w_j^u \\ & w_j^l \geq 0, \forall j \\ & j = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$w_j = (w_j^l, w_j^m, w_j^u),$$

$$\varphi_{k/(k+1)} = (\varphi_{k/(k+1)}^l, \varphi_{k/(k+1)}^m, \varphi_{k/(k+1)}^u) \quad \text{ve} \quad \varphi_{\frac{(k+1)}{(k+2)}} = (\varphi_{(k+1)/(k+2)}^l, \varphi_{(k+1)/(k+2)}^m, \varphi_{(k+1)/(k+2)}^u) \quad \text{ile temsil edilmiştir.}$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uygulama kapsamında Boya&Kimya sektöründe bir firmanın dekoratif taş tedarikçileri değerlendirilmesinde kullanılacak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir [33].

Adım 1: Karar kriterlerinin belirlenmesi

İlk olarak, kriter belirleyecek ve kriter önem ağırlarını değerlendirecek KV'ler belirlenmiştir. Uygulamanın yapıldığı firmada satın alma, pazarlama ve kalite departmanlarında görev yapan ve 8 ile 15 yıl arasında tecrübeye sahip 4 personel KV'ler olarak seçilmiştir.

Tedarikçi seçim kriterlerin belirlenmesi için ilk olarak literatür taraması yapılmış ve belirlenen kriterler firmanın sahip olduğu çalışma koşulları ve yönetim politikalar dikkate alınarak tanımlanmıştır [7]. Daha sonra KV'lerin tarafından bu kriterler onaylanmıştır. Tablo 1'de kriterler tanımlamaları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 1. Kriter Değerlendirme Tablosu

Kriterler	Kriter Açıklamaları
Tasarım(C ₁)	Taşın renk, boyut ve şekil uygunluğu
Maliyet(C ₂)	Ürünün birim maliyeti ve firmanın ödeme vadesi uygunluğu
Uygulama Kolaylığı(C ₃)	Gönderilen taşın kullanılabilirliği
Kalite(C ₄)	İstenilen kalitede olması
Stok Durumu(C ₅)	Sipariş miktarını karşılama kapasitesi
Nakliye Durumu(C ₆)	Zamanında sevkiyat yapabilme yeterliliği
Geçmiş Performans(C ₇)	Geçmiş işler için tedarikçinin kalite, maliyet ve nakliye uyumu
Garanti& Politikalar(C ₈)	Şirket politika ve standartlarına uyarak ürünün eleçleme, nakliye ve tedarik zamanına uyum. Hasarlı ürün tespitinde verilen tepki ve iyileştirme çabaları
Teknik Yeterlilik(C ₉)	Özelleştirilmiş olarak istenilen ürünü üretme yeteneği

İletişim Sistemi(C ₁₀)	Tedarikçiye istenildiğinde ulaşma ve tedarik süreçlerinin takibinin sağlanması
İtibar ve Endüstrideki Durum(C ₁₁)	Tedarikçinin sektördeki konumu
Eğitim Destekleri(C ₁₂)	Ürünün kullanım alanı ve kullanım biçimine ait firmaya verdiği bilgi ve doküman yeterliliği

Adım 2: Kriterlerin Sıralanması ve Üçgensel Bulanık Sayılar Kullanılarak Kriterlerin Karşılaştırılması

Herbir karar verici tarafından ilk olarak kriterler önem sırasına göre sıralanmıştır. Kriter önceliklendirilmesi için Tablo 2’de gösterilen ölçek kullanılmıştır [5].

Tablo 2. Kriter değerlendirme için dilsel ifadelerin üyelik fonksiyon değerleri

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayı Değerleri
Eşit Derecede Önemli (OZ)	(1, 1, 1)
Çok Zayıf Önemli(ÇZ)	(1, 2, 3)
Zayıf Önemli(Z)	(2, 3, 4)
Orta Zayıf Önemli(RZ)	(3, 4, 5)
Orta Önemli (O)	(4, 5, 6)
Daha Önemli (Rİ)	(5, 6, 7)
Oldukça Önemli (İ)	(6, 7, 8)
Çok Önemli (Çİ)	(7, 8, 9)
Mükemmel önemli (Oİ)	(8, 9, 10)

Sıralama işlemi, en yüksek önem katsayısına sahip olması beklenen kriterden, en düşük önem katsayısına sahip olan kriterle göre Eşitlik (1) yardımıyla yapılmıştır:

$$KV_1: C_2 = C_4 = C_1 > C_5 = C_6 = C_3 > C_{11} = C_{12} > C_7 = C_8 > C_{10} = C_9$$

$$KV_2: C_4 = C_5 = C_6 > C_1 > C_{10} > C_{12} = C_9 = C_{11} > C_7 = C_2 > C_8 = C_3$$

$$KV_3: C_5 = C_6 = C_9 > C_{12} > C_2 = C_1 = C_4 = C_7 > C_8 = C_3 > C_{11} > C_{10}$$

$$KV_4: C_1 = C_4 > C_2 = C_5 = C_6 > C_7 > C_3 = C_8 = C_9 > C_{12} > C_{10} > C_{11}$$

Karar vericiler Tablo 2’de gösterilen bulanık değerlendirme ölçeğini kullanarak önem sıralamasında ilk sırada belirledikleri kriterin bir sonraki kriterlere göre önemlilik düzeylerini belirlemişlerdir. Dilsel değerlendirmeler bulanık sayı değerlerine çevrilerek Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. KV’lerin bulanık sayı değerleri ile değerlendirmeleri

	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄
C ₁	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)
C ₂	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(1, 2, 3)
C ₃	(1, 2, 3)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)
C ₄	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)
C ₅	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
C ₆	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
C ₇	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)
C ₈	(3, 4, 5)	(5, 6, 7)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)
C ₉	(4, 5, 6)	(3, 4, 5)	(1, 1, 1)	(3, 4, 5)
C ₁₀	(4, 5, 6)	(2, 3, 4)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7)
C ₁₁	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)	(7, 8, 9)
C ₁₂	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(1, 2, 3)	(4, 5, 6)

Adım 3. Optimum Bulanık Ağırlıkların Hesaplanması

Kriterlerin karşılaştırmalı önemi Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) yardımıyla, her bir KV için Tablo 4’deki gibi tanımlanmıştır. Karşılaştırmalı öncelik vektörlerine ek olarak, Eşitlik(7) ile belirtilen matematiksel geçerlilik koşulu sağlanmalıdır. Bu sebeple $\varphi_{(k/k+2)}$ ‘nin değeri hesaplanmalıdır. Bu aşamada (n-2) adet yani 10 adet karşılaştırma bulunmaktadır. Her bir KV için $\varphi_{(k/k+2)}$ karşılaştırmalı öncelik değerleri sırasıyla Tablo 5’te gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 4. KV’ler için $\varphi_{(k/k+1)}$ karşılaştırmalı öncelik değerleri

KV ₁		KV ₂		KV ₃		KV ₄	
C ₂	-	C ₄	-	C ₅	-	C ₁	-
C ₄	(1, 1, 1)	C ₅	(1, 1, 1)	C ₆	(1, 1, 1)	C ₄	(1, 1, 1)
C ₁	(1, 1, 1)	C ₆	(1, 1, 1)	C ₉	(1, 1, 1)	C ₂	(1, 2, 3)
C ₅	(1, 2, 3)	C ₁	(1, 2, 3)	C ₁₂	(1, 2, 3)	C ₅	(0.333, 1, 3)
C ₆	(0.333, 1, 3)	C ₁₀	(0.667, 1.5, 4)	C ₂	(0.667, 1.5, 4)	C ₆	(0.333, 1, 3)
C ₃	(0.333, 1, 3)	C ₁₂	(0.75, 1.333, 2.5)	C ₁	(0.5, 1, 2)	C ₇	(0.667, 1.5, 4)
C ₁₁	(0.667, 1.5, 4)	C ₉	(0.6, 1, 1.667)	C ₄	(0.5, 1, 2)	C ₃	(0.75, 1.333, 2.5)
C ₁₂	(0.5, 1, 2)	C ₁₁	(0.6, 1, 1.667)	C ₇	(0.5, 1, 2)	C ₈	(0.6, 1, 1.667)
C ₇	(0.75, 1.333, 2.5)	C ₇	(0.8, 1.25, 2)	C ₈	(0.75, 1.333, 2.5)	C ₉	(0.6, 1, 1.667)
C ₈	(0.6, 1, 1.667)	C ₂	(0.667, 1, 1.5)	C ₃	(0.6, 1, 1.667)	C ₁₂	(0.8, 1.25, 2)
C ₁₀	(0.8, 1.25, 2)	C ₈	(0.833, 1.2, 1.75)	C ₁₁	(0.8, 1.25, 2)	C ₁₀	(0.833, 1.2, 1.75)
C ₉	(0.667, 1, 1.5)	C ₃	(0.714, 1, 1.4)	C ₁₀	(0.833, 1.2, 1.75)	C ₁₁	(1, 1.333, 1.8)

Tablo 5. KV'ler için $\varphi_{(k/k+2)}$ karşılaştırmalı öncelik değerleri

KV ₁		KV ₂		KV ₃		KV ₄	
C ₂	-	C ₄	-	C ₅	-	C ₁	-
C ₄	-	C ₅	-	C ₆	-	C ₄	-
C ₁	(1, 1, 1)	C ₆	(1, 1, 1)	C ₉	(1, 1, 1)	C ₂	(1, 2, 3)
C ₅	(1, 2, 3)	C ₁	(1, 2, 3)	C ₁₂	(1, 2, 3)	C ₅	(0.333, 2, 9)
C ₆	(0.333, 2, 9)	C ₁₀	(0.667, 3, 12)	C ₂	(0.667, 3, 12)	C ₆	(0.111, 1, 9)
C ₃	(0.111, 1, 9)	C ₁₂	(0.5, 2, 10)	C ₁	(0.333, 1.5, 8)	C ₇	(0.222, 1.5, 12)
C ₁₁	(0.222, 1.5, 12)	C ₉	(0.45, 1.333, 4.167)	C ₄	(0.25, 1, 4)	C ₃	(0.5, 2, 10)
C ₁₂	(0.333, 1.5, 8)	C ₁₁	(0.36, 1, 2.778)	C ₇	(0.25, 1, 4)	C ₈	(0.45, 1.333, 4.167)
C ₇	(0.375, 1.333, 5)	C ₇	(0.48, 1.25, 3.333)	C ₈	(0.375, 1.333, 5)	C ₉	(0.36, 1, 2.778)
C ₈	(0.45, 1.333, 4.167)	C ₂	(0.533, 1.25, 3)	C ₃	(0.45, 1.333, 4.167)	C ₁₂	(0.48, 1.25, 3.333)
C ₁₀	(0.48, 1.25, 3.333)	C ₈	(0.556, 1.2, 2.625)	C ₁₁	(0.48, 1.25, 3.333)	C ₁₀	(0.667, 1.5, 3.5)
C ₉	(0.533, 1.25, 3)	C ₃	(0.595, 1.2, 2.45)	C ₁₀	(0.667, 1.5, 3.5)	C ₁₁	(0.833, 1.6, 3.15)

Her bir KV için matematiksel model Eşitlik (8) ile oluşturulmuş ve LINGO 18.0 kullanılarak çözülmüştür. Örnek olarak; KV₁ için oluşturulan matematiksel model aşağıda verilmiştir [33].

min χ
st.

$$\begin{aligned}
 &|w_2^l - 1 \cdot w_4^u| \leq \chi; |w_2^m - 1 \cdot w_4^m| \leq \chi; \\
 &|w_2^u - 1 \cdot w_4^l| \leq \chi; |w_4^l - 1 \cdot w_1^u| \leq \chi; \\
 &|w_2^l - 1 \cdot w_4^u| \leq \chi; |w_2^m - 1 \cdot w_4^m| \leq \chi; \\
 &|w_2^u - 1 \cdot w_4^l| \leq \chi; |w_4^l - 1 \cdot w_1^u| \leq \chi; \\
 &|w_4^m - 1 \cdot w_1^m| \leq \chi; |w_4^u - 1 \cdot w_1^l| \leq \chi; \\
 &|w_1^l - 1 \cdot w_5^u| \leq \chi; |w_1^m - 2 \cdot w_5^m| \leq \chi; \\
 &|w_1^u - 3 \cdot w_5^l| \leq \chi; |w_5^l - 0.333 \cdot w_6^u| \leq \chi; \\
 &|w_5^m - 1 \cdot w_6^m| \leq \chi; |w_5^u - 3 \cdot w_6^l| \leq \chi; \\
 &|w_6^l - 0.333 \cdot w_3^u| \leq \chi; |w_6^m - 1 \cdot w_3^m| \leq \chi; \\
 &|w_6^u - 3 \cdot w_3^l| \leq \chi; |w_3^u - 0.667 \cdot w_{11}^u| \leq \chi; \\
 &|w_3^m - 1.5 \cdot w_{11}^m| \leq \chi; |w_3^l - 4 \cdot w_{11}^l| \leq \chi; \\
 &|w_{11}^l - 0.5 \cdot w_{12}^u| \leq \chi; |w_{11}^m - 1 \cdot w_{12}^m| \leq \chi; \\
 &|w_{11}^u - 2 \cdot w_{12}^l| \leq \chi; |w_{12}^l - 0.75 \cdot w_7^u| \leq \chi; \\
 &|w_{12}^m - 1.333 \cdot w_7^m| \leq \chi; |w_{12}^u - 2.5 \cdot w_7^l| \leq \chi; \\
 &|w_7^l - 0.6 \cdot w_8^u| \leq \chi; |w_7^m - 1 \cdot w_8^m| \leq \chi; \\
 &|w_7^u - 1.667 \cdot w_8^l| \leq \chi; |w_8^l - 0.8 \cdot w_{10}^u| \leq \chi; \\
 &|w_8^m - 1.25 \cdot w_{10}^m| \leq \chi; |w_8^u - 2 \cdot w_{10}^l| \leq \chi; \\
 &|w_8^l - 0.8 \cdot w_{10}^u| \leq \chi; |w_8^m - 1.25 \cdot w_{10}^m| \leq \chi; \\
 &|w_8^u - 2 \cdot w_{10}^l| \leq \chi;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &|w_2^l - 1 \cdot w_1^u| \leq \chi; |w_2^m - 1 \cdot w_1^m| \leq \chi; \\
 &|w_2^u - 1 \cdot w_1^l| \leq \chi; |w_4^l - 1 \cdot w_5^u| \leq \chi; \\
 &|w_4^m - 2 \cdot w_5^m| \leq \chi; |w_4^u - 3 \cdot w_5^l| \leq \chi; \\
 &|w_1^l - 0.333 \cdot w_6^u| \leq \chi; |w_1^m - 2 \cdot w_6^m| \leq \chi; \\
 &|w_1^u - 9 \cdot w_6^l| \leq \chi; |w_5^l - 0.111 \cdot w_3^u| \leq \chi; \\
 &|w_5^m - 1 \cdot w_3^m| \leq \chi; |w_5^u - 9 \cdot w_3^l| \leq \chi; \\
 &|w_6^l - 0.222 \cdot w_{11}^u| \leq \chi; |w_6^m - 1.5 \cdot w_{11}^m| \leq \chi; \\
 &|w_6^u - 12 \cdot w_{11}^l| \leq \chi; |w_3^l - 0.333 \cdot w_{12}^u| \leq \chi; \\
 &|w_3^m - 1.5 \cdot w_{12}^m| \leq \chi; |w_3^l - 8 \cdot w_{12}^l| \leq \chi; \\
 &|w_{11}^l - 0.375 \cdot w_7^u| \leq \chi; |w_{11}^m - 1.333 \cdot w_7^m| \leq \chi; \\
 &|w_{11}^u - 5 \cdot w_7^l| \leq \chi; |w_{12}^l - 0.45 \cdot w_8^u| \leq \chi;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &|w_{12}^m - 1.333 \cdot w_8^m| \leq \chi; |w_{12}^u - 4.167 \cdot w_8^l| \leq \chi; \\
 &|w_7^l - 0.48 \cdot w_{10}^u| \leq \chi; |w_7^m - 1.25 \cdot w_{10}^m| \leq \chi; \\
 &|w_7^u - 3.333 \cdot w_{10}^l| \leq \chi; |w_8^l - 0.53 \cdot w_9^u| \leq \chi; \\
 &|w_8^m - 1.25 \cdot w_9^m| \leq \chi; |w_8^u - 3 \cdot w_9^l| \leq \chi;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &1/6(w_1^l + 4 \cdot w_1^m + w_1^u) + 1/6(w_2^l + 4 \cdot w_2^m + w_2^u) \\
 &+ 1/6(w_3^l + 4 \cdot w_3^m + w_3^u) + 1/6(w_4^l + 4 \cdot w_4^m + w_4^u) \\
 &+ 1/6(w_5^l + 4 \cdot w_5^m + w_5^u) + 1/6(w_6^l + 4 \cdot w_6^m + w_6^u) \\
 &+ 1/6(w_7^l + 4 \cdot w_7^m + w_7^u) + 1/6(w_8^l + 4 \cdot w_8^m + w_8^u) \\
 &+ 1/6(w_9^l + 4 \cdot w_9^m + w_9^u) + 1/6(w_{10}^l + 4 \cdot w_{10}^m + w_{10}^u) \\
 &+ 1/6(w_{11}^l + 4 \cdot w_{11}^m + w_{11}^u) + 1/6(w_{12}^l + 4 \cdot w_{12}^m + w_{12}^u) = 1;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &w_1^l \leq w_1^m \leq w_1^u, w_2^l \leq w_2^m \leq w_2^u, w_3^l \leq w_3^m \leq w_3^u, \\
 &w_4^l \leq w_4^m \leq w_4^u, w_5^l \leq w_5^m \leq w_5^u, w_6^l \leq w_6^m \leq w_6^u, \\
 &w_7^l \leq w_7^m \leq w_7^u, w_8^l \leq w_8^m \leq w_8^u, w_9^l \leq w_9^m \leq w_9^u, \\
 &w_{10}^l \leq w_{10}^m \leq w_{10}^u, w_{11}^l \leq w_{11}^m \leq w_{11}^u, w_{12}^l \leq w_{12}^m \leq w_{12}^u; \\
 &w_1^l, w_2^l, w_3^l, w_4^l, w_5^l, w_6^l, w_7^l, w_8^l, w_9^l, w_{10}^l, w_{11}^l, w_{12}^l \geq 0.
 \end{aligned}$$

Matematiksel modelin çözümü sonucunda, $\chi_{DM_1} = 0.039, \chi_{DM_2} = 0.043, \chi_{DM_3} = 0.033, \chi_{DM_4} = 0.0380$ olarak bulunmuştur. Hesaplanan bulanık kriter ağırlıkları Eşitlik (21) kullanılarak durusallaştırılmıştır. Her bir KV için ayrı ayrı elde edilen kriterler ağırlıkları, nihai kriter ağırlık değerlerini bulmak için geometrik ortalamaya başvurulmuştur ve sonrasında bu ağırlıklar normalleştirilmiştir. Kriterler için bulunan nihai ağırlık değerleri: C₁= 0.079, C₂=0.082, C₃=0.08, C₄=0.113, C₅=0.096, C₆=0.085, C₇=0.076, C₈=0.084, C₉=0.094, C₁₀=0.069, C₁₁=0.074, C₁₂=0.067 olarak hesaplanmıştır. Bu ağırlıklara göre tedarikçi değerlendirmesinde en önemli kriter kalite kriteri ve en önemsiz kriter ise eğitim destekleri kriteri olarak belirlenmiştir. Firma bu kriter ağırlıklarını dikkate alarak tedarikçilerini değerlendirmelidir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada tedarik zinciri kavramının paydaşlarından biri olan tedarikçi kavramı üzerine durulmuş; bir firmanın tedarikçileri değerlendirilmiştir. KV'lerin sübjektif değerlendirmeleri kullanılan ve doğrusal olmayan programlama modeline dayanan bulanık FUCOM metodu ile DMC değerini bağlı olarak optimum kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda tedarikçi seçimde sürdürülebilirlik kriterleri dikkate alınabilir. Farklı sektörlerde ve uygulanan sektöre göre seçim kriterlerinin özelleştirilmesi ile çalışma farklı bir boyut kazanacaktır. Ayrıca farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak tedarikçi alternatifleri seçimi yapılabilir.

5. Teşekkür

Karar vericilere ve uygulamanın yapıldığı işletme yetkililerine teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Abdollahi, M., Arvan, M., & Razmi, J., 2015. An integrated approach for supplier portfolio selection: lean or agile. *Expert Systems with Applications*, 42(1), 679-690. doi:10.1016/j.eswa.2014.08.019
- [2] Alavi, B., Tavana, M., & Mina, H., 2021. A dynamic decision support system for sustainable supplier selection in circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 905-920. doi:10.1016/j.spc.2021.02.015
- [3] Cao, Esangbedo, Bai, & Esangbedo., 2019. Grey SWARA-FUCOM weighting method for contractor selection mcdm problem: a case study of floating solar panel energy system installation. *Energies*, 12(13). doi:10.3390/en12132481
- [4] Cengiz, A. E., Aytekin, O., Ozdemir, I., Kusan, H., & Cabuk, A., 2017. A multi-criteria decision model for construction material supplier selection. *Procedia Engineering*, 196, 294-301. doi:10.1016/j.proeng.2017.07.202
- [5] Chou, Y.-C., Sun, C.-C., & Yen, H.-Y., 2012. Evaluating the criteria for human resource for science and technology (HRST) based on an integrated fuzzy AHP and fuzzy DEMATEL approach. *Applied Soft Computing*, 12(1), 64-71. doi:10.1016/j.asoc.2011.08.058
- [6] Dargi, A., Anjomshoae, A., Galankashi, M. R., Memari, A., & Tap, M. B. M., 2014. Supplier selection: a Fuzzy-ANP approach. *Procedia Computer Science*, 31, 691-700. doi:10.1016/j.procs.2014.05.317
- [7] Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of purchasing*, 2(1), 5-17.
- [8] Durmić, E., Stević, Ž., Chatterjee, P., Vasiljević, M., & Tomašević, M., 2020. Sustainable supplier selection using combined FUCOM – Rough SAW model. *Reports in Mechanical Engineering*, 1(1), 34-43. doi:10.31181/rme200101034c
- [9] Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V., 2016. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283. doi:10.1016/j.eswa.2016.06.030
- [10] Erceg, Ž., & Mularifović, F., 2019. Integrated MCDM model for processes optimization in the supply chain management in the wood company. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(1). doi:10.31181/oresta1901015e
- [11] Govindan, K., Kadziński, M., & Sivakumar, R., 2017. Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain. *Omega*, 71, 129-145. doi:10.1016/j.omega.2016.10.004
- [12] Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A., 2013. A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 47, 345-354. doi:10.1016/j.jclepro.2012.04.014
- [13] Gören, H. G., 2018. A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1156-1169. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.2
- [14] Guo, X., Yuan, Z., & Tian, B., 2009. Supplier selection based on hierarchical potential support vector machine. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6978-6985. doi:10.1016/j.eswa.2008.08.074
- [15] Hu, K.-J., & Yu, V. F., 2016. An integrated approach for the electronic contract manufacturer selection problem. *Omega*, 62, 68-81. doi:10.1016/j.omega.2015.08.010
- [16] Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., & Diabat, A., 2013. Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355-367. doi:10.1016/j.jclepro.2013.02.010
- [17] Kumar, S., Kumar, S., & Barman, A. G., 2018. Supplier selection using fuzzy TOPSIS multi criteria model for a small scale steel manufacturing unit. *Procedia Computer Science*, 133, 905-912.
- [18] Lam, K.-C., Tao, R., & Lam, M. C.-K., 2010. A material supplier selection model for property developers using Fuzzy Principal Component Analysis. *Automation in Construction*, 19(5), 608-618. doi:10.1016/j.autcon.2010.02.007
- [19] Liao, C.-N., & Kao, H.-P., 2010. Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. *Computers & Industrial Engineering*, 58(4), 571-577. doi:10.1016/j.cie.2009.12.004
- [20] Liao, C.-N., & Kao, H.-P., 2011. An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10803-10811. doi:10.1016/j.eswa.2011.02.031
- [21] Lin, Y.-T., Lin, C.-L., Yu, H.-C., & Tzeng, G.-H., 2010. A novel hybrid MCDM approach for outsourcing vendor selection: a case study for a semiconductor company in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 37(7), 4796-4804. doi:10.1016/j.eswa.2009.12.036
- [22] Liu, Y., Eckert, C., Yannou-Le Bris, G., & Petit, G., 2019. A fuzzy decision tool to evaluate the sustainable performance of suppliers in an agrifood value chain. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 196-212. doi:10.1016/j.cie.2018.12.022
- [23] Matic, B., Jovanović, S., Das, D. K., Zavadskas, E. K., Stević, Ž., Sremac, S., & Marinković, M., 2019. A new hybrid mcdm model: sustainable supplier selection in a construction company. *Symmetry*, 11(3). doi:10.3390/sym11030353
- [24] Mubarak, M. S., Kazmi, S. H. A., & Zaman, S. I., 2021. Application of gray DEMATEL-ANP in green-strategic sourcing. *Technology in Society*, 64. doi:10.1016/j.techsoc.2020.101524
- [25] Nielsen, I. E., Banaeian, N., Golińska, P., Mobli, H., & Omid, M., 2014. Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Flexible
- [26] Pamučar, D., & Ecer, F., 2020. Prioritizing the weights of the evaluation criteria under fuzziness: the fuzzy full consistency method – FUCOM-F. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 18(3). doi:10.22190/fume200602034p
- [27] Pamučar, D., Deveci, M., Canitez, F., & Božanić, D., 2020. A fuzzy Full Consistency Method-Dombi-Bonferroni model for prioritizing transportation demand management measures. *Applied Soft Computing*, 87. doi:10.1016/j.asoc.2019.105952
- [28] Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S., 2018. A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9). doi:10.3390/sym10090393
- [29] Rezaei, J., Fahim, P. B. M., & Tavasszy, L., 2014. Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive screening method and fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8165-8179. doi:10.1016/j.eswa.2014.07.005
- [30] Rouyendegh, B. D., & Saputro, T. E., 2014. Supplier selection using integrated fuzzy TOPSIS and MCGP: a case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 3957-3970. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.874
- [31] Stević, Ž., Durmić, E., Gajić, M., Pamučar, D., & Puška, A., 2019. A novel multi-criteria decision-making model: interval rough SAW method for sustainable supplier selection. *Information*, 10(10). doi:10.3390/info10100292
- [32] Sureeyatanapas, P., Sriwattananusart, K., Niyamosoth, T., Sessomboon, W., & Arunyanart, S., 2018. Supplier selection towards uncertain and unavailable information: an extension of TOPSIS method. *Operations Research Perspectives*, 5, 69-79. doi:10.1016/j.orp.2018.01.005
- [33] Taşkent, M.C., (2021). Tedarikçi Seçimi İçin Kriter Ağırlıklarının Eniyilenmesi Temelli Yeni Bir Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.



Atık Polistiren Matrisli Aerojel Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu

Amin Fiyouj^{1*}, Mevlüt Gürbüz¹

^{1*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6728-3987), fiuj.amin@yahoo.com

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2365-5918), mgurbuz@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011779)

ATIF/REFERENCE: Fiyouj, A. & Gürbüz, M. (2021). Atık Polistiren Matrisli Aerojel Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 869-872.

Öz

Bu çalışmada atık strafordan elde edilen polistiren matris malzeme, takviye olarak da ağırlıkça farklı oranlarda aerojel (ağ.% 3, 6 ve 9) kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Elde edilen kompozitlere çekme dayanımı ve Shore sertlik testleri uygulanmıştır. Kompozitlerin mikroyapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Sonuçlardan polistiren maksimum çekme dayanımı 0.67 MPa ve shore sertlik değeri 162 olurken, Aerojel takviyeli kompozitlerde ise ağ.9% aerojel içeren kompozit 0.85 MPa maksimum çekme dayanımı göstermiş, Shore sertliği ise 202'ye kadar arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Polistiren, aerojel, çekme, shore sertliği

Fabrication and Characterization of Aerogel Reinforced Polystyrene Matrix Composites

Abstract

In this study, polystyrene obtained from waste styrofoam, aerogel (3, 6 and 9 wt.%) were used as matrix and reinforcement elements to fabricate composites. Tensile strength, Shore hardness test were applied to the obtained composites. The microstructures of the composites were analyzed by scanning electron microscopy (SEM). From the results, the maximum tensile strength of polystyrene was 0.67 MPa and the shore hardness value was 162, while the composite containing 9% wt of airgel showed a maximum tensile strength of 0.85 MPa, and the Shore hardness increased up to 202.

Keywords: Polystyrene, aerogel, tensile, shore hardness.

* Sorumlu Yazar: fiuj.amin@yahoo.com

1. Giriş

sektörlerde kendine yer açan ve neredeyse tüm ekonomik ve sanayi faaliyetlerine girmiş bir alandır[1]. Kompozit üretiminde kullanılan matris malzemelerden biride polistiren matris kompozitlerdir. Bu kompozitler korozyon direncini artırmada, kil teknolojilerinde, farklı uygulamalar için su tutmaz yüzeyler, yanmazlık, ısı/ses yalıtımı, mekanik özellik vb. film kompozit formunda yaygın olarak kullanılmaktadır[2]. Kompozit malzemelerin savunma sanayi, tekstil, uçak, denizcilik ve otomotiv sektöründe kullanımının önemli yeri vardır[3]. Aerojel 1960'lardan beri uzay yolculuğunda kullanılan, ancak şu anda tüm endüstrilerde kullanım alanı bulan olağanüstü bir malzeme grubundan bahsetmek için kullanılan geniş bir terimdir. Aerojel teknik olarak bir köpük olmasına rağmen, birçok farklı şekil ve formda olabilir. Aerojelin çoğunluğu silikadan oluşur, ancak karbon, demir oksit, organik polimerler, yarı iletken nano yapılar, altın ve bakır da aerojel oluşturabilir [4].

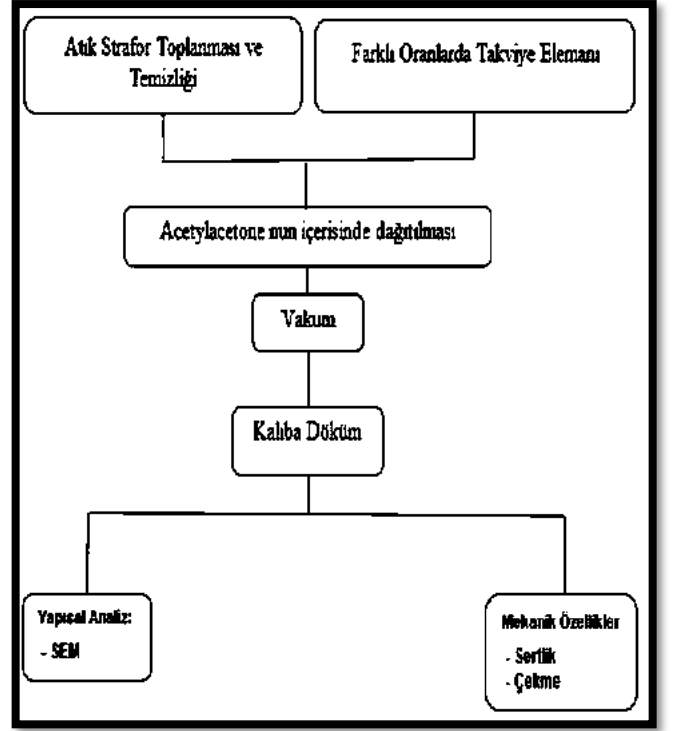
Dünyada en iyi ısı yalıtımı sağlayan birkaç malzemeden biri olan EPS, performans/fiyat analizi yapıldığında diğer ısı yalıtım malzemelerine göre ekonomik çözümler sağlayan bir yapı malzemesidir. Bu yapı malzemelerinin kullanım sonrasında birçok atık oluşmakta bu da çok fazla geri dönüşüm olarak değerlendirilmemektedir.

Bu nedenle bu çalışmada, inşaat atıklarından elde edilen ucuz üretim yöntemi ve pahalı hammaddelere alternatif polistiren kaynağı olarak atık strafor köpüklerin geri dönüşümü ile mekanik özelliği ve aerojellerin kullanılmasıyla geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak inşaat atıklarından toplanan strafor polistiren (Ps) matris olarak ve takviye malzemesi olarak farklı oranlarda silika esaslı aerojel kullanılmıştır. Strafordan polistiren elde etmek için çözücü olarak asetilaseton kullanılmıştır.

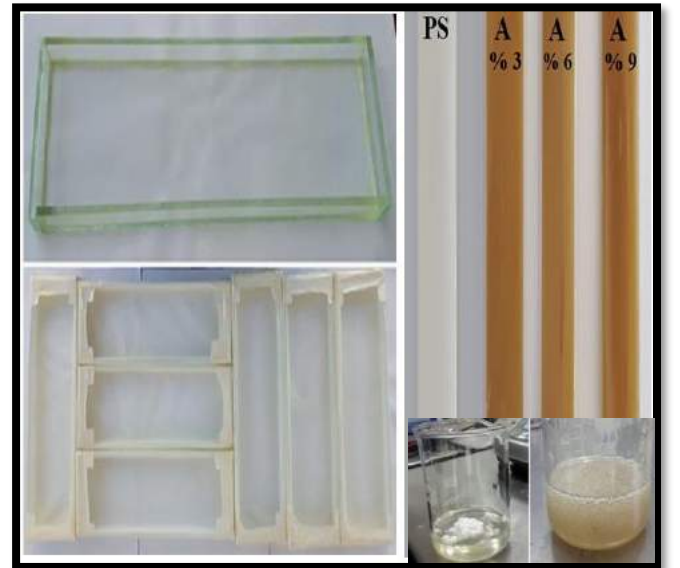
Şekil 1'de akış diyagramı verilen çalışmada atık strafor, asetilasetonda çözündürülerek matris olarak kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak ise aerojel farklı oranlarda (ağ.% 3, 6, 9) kullanılmıştır. Straforun polistiren kaynağı olarak çözünme sonrası takviyelenmiş, sonrasında gözenek yapmaması için vakumdan geçirilerek kalıba döküm sonrası kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerden test numunesi olarak hazırlanarak, mekanik özellik olarak shore sertliği ve çekme testi yapılmıştır. Üretilen kompozitlerin mikroyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir.



Şekil 1. Aerojel takviyeli Ps kompozit üretim aşamaları

Numune hazırlamak için ilk olarak inşaat atığı olan blok strafor ürünler küçük boncuklar şeklinde parçalanmıştır. Daha sonra asetilaseton içerisinde çözündürülmüş, çözündürme işlemi sonrası kompozit reçetesine göre takviye elemanları eklenmiş, çözünme ve karıştırma işleminden oluşan hava kabarcığı vakuma alınarak kalıba dökülecek kıvama getirilmiştir. Kalıba dökülebilir numune hazırlandıktan sonra kalıp tasarımı yapılmış ve dökülerek kalın plaka formunda örnekler hazırlanmıştır.

Kalıpları hazırlamak için 250×70×20 mm cam kullanılmıştır. Sonraki aşamada gerek takviyesiz gerekse farklı oranlarda aerojel takviyeli yapılar üretilen kalıplara dökülmüş ve kurumaya bırakılmıştır. Kuruma sonrası örnekler yapılacak teste göre kesilerek test örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 2).



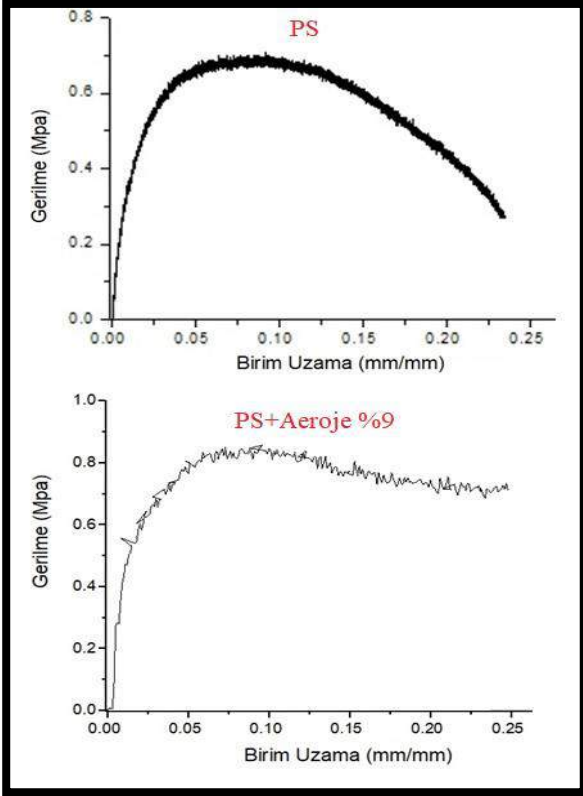
Şekil 2. Kalıp tasarımı ve polistiren-aerojel takviyeli kompozitlerin çekme örnekleri

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

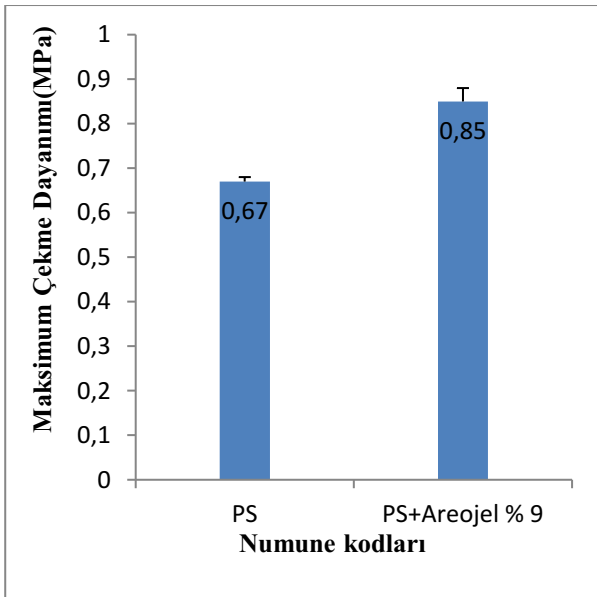
3.1. Numunelerin Çekme Testi

Üretilen örnekler çekme cihazına bağlanmış 1 mm/dk çekme hızında testler yapılmış, cihazdan alınan datalar ile çekme dayanımı birim uzama eğrileri çizilmiştir.

Şekil 3'de gerilme birim uzama eğrisinden verildiği üzere takviyesiz Ps örneklerin mekanik özelliği 0.67 MPa maksimum dayanım gösterirken, çalışmada farklı oranlarda aerojel (ağ.% 3-9 arası) çalışılmış ve en yüksek mekanik özellik ağ.%9 aerojel içeren de 0.85 MPa tespit edilmiştir. Bu değer üzerinde proses esnasında aşırı topaklanma olduğu için örnek hazırlanamamıştır.



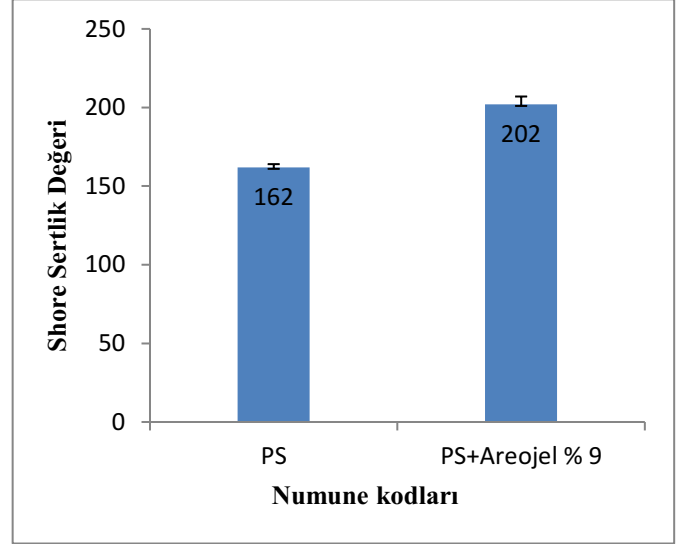
Şekil 3. Ps ve Aerojel takviyeli kompozitlerin çekme eğrisi



Şekil 4. Ps ve Aerojel takviyeli kompozitlerin ortalama maksimum çekme dayanımları

3.2. Numunelerin Shore Testi

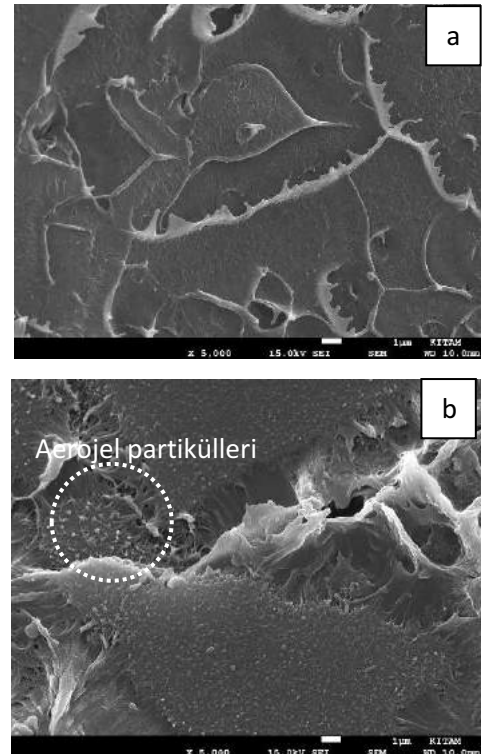
Üretilen kompozitlerin (10mm×10mm) sertlik davranışı ise Shore sertlik testi ile yapılmıştır. Sertlik sonuçlarından görüldüğü üzere polistiren sertlik değeri 162 tespit edilirken, aerojel ilavesi ile bu değerde ciddi bir artış olup ve ağ. %9 aerojel takviyeli Ps kompozit için sertlik 202 olarak bulunmuştur.

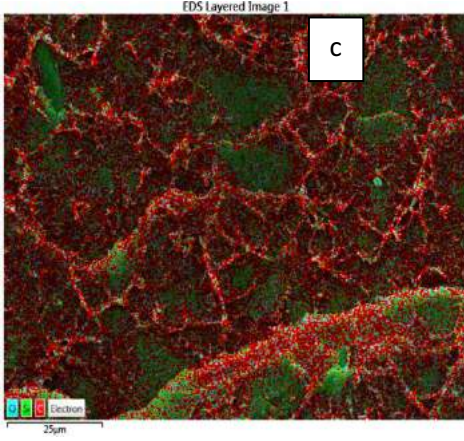


Şekil 5. Ps ve Aerojel takviyeli kompozitlerin ortalama shore sertlik değerleri

3.3. Numunelerin SEM ve EDX harita görüntüsü

Şekil 5.6a-c'de takviyesiz Ps ve aerojel takviyeli Ps kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme SEM görüntülerinden görüldüğü üzere aerojel partikülleri yapıda gözükmemektedir. Ağ.%9 aerojel içeren Ps kompozitin EDX harita analizinden görüldüğü üzere aerojel partiküller yapıda homojen olarak dağılmıştır. Yeşil ve mavi renkli bölgeler Si ve O, kırmızı renkli bölgeler ise Ps'den gelen C'a aittir.





Şekil 6. Ps ve aerojel takviyeli kompozitlerin SEM (a-b) ve EDX harita analizi (c)

3.4. Tartışma

Partikül takviyeli kompozit yapılarda partikülün yapı içinde homojen dağıtılması oldukça önemlidir. Belli bir değere kadar tozlar matris içinde homojen dağılım gösterirken optimum değerin üzerinde partiküller arasındaki elektrostatik çekimden dolayı topraklanmaktadır. Bu topraklar kompozit içerisinde lokal olarak heterojen dağılmakta ve gözenek oluşturmaktadır. Ayrıca bu topraklardan kaynaklanan zayıf arayüz etkileşimi meydana gelmektedir. Bunların sonucunda mekanik özellikler olumsuz etkilenmektedir. Bu çalışmada kompozit yapılarda aerojel belli bir değere kadar (bu çalışmada ağırlık % 9) yapıda homojen dağılımdan dolayı güçlendirici etki yapmıştır. Maksimum çekme dayanımı ve sertlik sonuçlarından görüldüğü üzere aerojel ilavesi arttıkça mekanik özellik polistiren sisteme göre daha da artmıştır. Bunun nedeni polistiren sistemde test esnasında polistiren arayüzüne aerejel yapıları girerek yük altında arayüz deformasyonu daha zor olmaktadır. Burada da aerojel katkısı polistiren-aerojel arayüzünde test anında kaymaya karşı zorlanma etkisi yaratmaktadır. Aerojelin varlığında ortaya çıkan sürtünmeden dolayı test esnasında bu sürtünmeyi yenmek için daha fazla yük altında deformasyon gerçekleşmektedir. Ayrıca, artan aerojel miktarıyla sertlikte artış olması ise aerojelin seramik esaslı ve Ps'e göre daha sert malzeme olması ve partiküller arasındaki arayüz bağlantısının güçlü olması verilebilir [5-7].

4. Sonuç

Bu çalışmada Ps matris kaynağı olarak atık strafor kullanılmış, elde edilen Ps matrise takviye olarak ağırlıkça farklı oranlarda aerojel (ağırlık % 3, 6 ve 9) kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Sonuçlardan takviyesiz polistiren maksimum çekme dayanımı 0.67 MPa ve shore sertlik değeri 162 olurken, aerojel takviyeli kompozitlerde ise ağırlık % 9 aerojel içeren kompozit için 0.85 MPa maksimum çekme dayanımı göstermiş, Shore sertliği ise 202'ye kadar arttığı görülmüştür.

Kaynakça

- [1] O. Arıcasoy., İstanbul Ticaret Odası. İstanbul Ticaret Odası Kompozit Sektör Raporu. Aralık, 2006
- [2] B. Beşergil, Kompozitler. Gazi Kitabevi. 2016, Türkiye
- [3] F. Yastimoğlua, A. Özkan, 2017. "Tekrarlanan yükler altında kompozit malzemelerin yapılarının incelenmesini amaçlayan deney aygıtı tasarımı", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (2017) 56-66
- [4] G.P. Thomas, "What is Aerojel? Theory, Properties and Applications", Azo Materials. Aug. 22, 2012
- [5] K.G. Dassios, "A Review of the Pull-Out Mechanism in the Fracture of Brittle-Matrix Fibre-Reinforced Composites" Advanced Composites Letters (2007) 161(1)
- [6] M.C. Şenel, M. Gürbüz, "Investigation on Mechanical Properties and Microstructures of Aluminum Hybrid Composites Reinforced with Al₂O₃/GNPs Binary Particles. Arch. Metall. Mater. 66 (2021), 1, 97-106
- [7] M.C. Şenel, M. Gürbüz, "Synergistic effect of graphene/boron nitride binary nanoparticles on aluminum hybrid composite properties". Advanced Composites and Hybrid Materials (2021)



Çarpan Hava Jetlerinde Farklı Parametrelerin Hız Sınır Tabakası Üzerindeki Etkisinin Simülasyonu

Burak Türkan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Makine Bölümü, Gemlik, 16600, Bursa/TÜRKİYE (ORCID No: 0000-0002-4019-7835)
burakt@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011837)

ATIF/REFERENCE: Turkan, B. (2021). Çarpan Hava Jetlerinde Farklı Parametrelerin Hız Sınır Tabakası Üzerindeki Etkisinin Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 873-889.

Öz

Çarpan hava jetleri yüksek ısı transfer oranları, hız ve birçok ayarlanabilir parametreye sahip olmaları nedeni ile tercih edilirler. Bu özellikleri nedeni ile soğutma alanında da kullanılabilirler. Elektronik elemanların soğutulması, kağıt, tekstil ürünleri ve gıda kurutma gibi sektörler başta olmak üzere kullanımı oldukça yaygındır. Bu çalışmada çarpan hava jetlerinde parametrelerin hız sınır tabakası ve akım çizgi değişimi üzerindeki etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Seçilen parametreler hız, H/D mesafesi, nozul sayısı ve nozullar arasındaki mesafedir. Ortalama Reynolds sayısında 50 mm nozzle mesafesi için H/D 8'e kadar kabul edilebilir bir görüntü oluşurken, sonrasında gittikçe artan bir "upwash" etkisi gözlemlenmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında ise 50 mm nozzle mesafesi için istenilen efektiflik elde edilememiştir. 75 mm ve özellikle 100 mm nozzle mesafesinde H/D 4 için istenilen sınır tabaka elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı ve kütle transferi, Çarpan hava jeti, Nümerik metod.

Simulation of The Effect of Different Parameters on The Velocity Boundary Layer in Impinging Air Jets

Abstract

Impinging air jets are preferred due to their high heat transfer rates, velocity and many adjustable parameters. Due to these features, they can also be used in the cooling field. It is widely used in sectors such as cooling of electronic elements, paper, textile products and food drying. In this study, the effect of the parameters on the velocity boundary layer and streamline change in impinging air jets was investigated numerically. The selected parameters are velocity, H/D distance, number of nozzles and distance between nozzles. While an acceptable image was formed up to H/D 8 for 50 mm nozzle distance in the average Reynolds number, an increasing upwash effect was observed afterwards. At high Reynolds numbers, the desired effectiveness could not be achieved for 50 mm nozzle distance. The desired boundary layer for H/D 4 was obtained at a nozzle distance of 75 mm and especially 100 mm.

Keywords: Heat and mass transfer, Impinging air jet, Numerical method.

*Sorumlu Yazar: burakt@uludag.edu.tr

1. Giriş

Yüksek hızlı çarpan hava jetleri çapma bölgesinde meydana gelen yüksek ısı transfer katsayısından ve bunu istenilen hızda ve odaklı bir şekilde yapabilmemesinden dolayı ısıtma, soğutma ve kurutmada yaygın olarak kullanılır. Endüstriyel sistemlerde, gaz türbinlerinde, kağıt ve sebze kurutmada, cam üretiminde ve yüksek yoğunluklu elektronik sistemler gibi geniş bir alanda uygulaması vardır (Çalışır vd., 2017).

Bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Jet açısı, kanatçıklı ve kanatçiksız yüzeyler, kanatçık geometrisi, nozul-plaka mesafesi, jet-jet mesafesi, jet açısı plaka tipi gibi birçok etmen göz önüne alınarak çalışmalar yapılmıştır. Fregau vd., (2003) 3 boyutlu konkav bir yüzeye çarpan sıcak hava jetlerinin numerik olarak ısı transferi korelasyonlarını incelemiştir. Çelik ve Eren (2009) çarpan dairesel bir jette çarpma bölgesinin türbülans şiddetinin ısı transferine etkisini yapılan araştırmaların aksine jet çapını büyük tutarak incelemiştir. Garimella (2001) yerel ısı transferini çoklu jetler kullanarak ($5000 < Re < 20000$) ve jet plaka mesafesini ($0.5 < H/d < 4$) olarak incelemiştir. Jet –plaka aralığında bir azalmanın, çoklu jetlerde ısı transfer katsayısını arttırdığı ve bu etkinin daha yüksek Reynolds sayılarında daha güçlü olduğu bulunmuştur. Etemoğlu vd., (2009) kurutucularda kumaşın ısı ve kütle transferi analizi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Modeli kullanarak, çarpan hava jetli kurutucularda hesaplanan geçici kumaş sıcaklıklarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Heterojen malzemelerin kurutulmasının birleşik ısı ve kütle transferi analizi için Etemoğlu (2003) tarafından geliştirilen matematiksel bir model, hem çarpan hava jetleri hem de havada kurutma yöntemleri için verilmiştir.

Elibol ve Türkoğlu (2017) gözenekli düz bir yüzeye çarpan jetin sayısal olarak incelemesini yapmışlardır. ANSYS Fluent yardımı ile yapılan çalışmalarda sıcak levha yüzeyinin gözenekli tabaka ile kaplandığı durumlarda, gözenekli malzemenin belirli gözeneklilik ve kalınlık değerleri aralığında olması halinde, ısı transferinin gözenekli tabaka kullanılmayan duruma göre daha etkin olduğunu göstermiştir. Weigand ve Spring (2009) çoklu hava jetlerinde, çarpan jetler ile komşu jetlerin havasının oluşturduğu akışın etkileşimini irdelemiştir. Bu etkileşimlerin küçük aralıklı diziler, küçük jet boşlukları ve büyük jet hızlarında ortaya çıktığını görmüşlerdir. Çarpan hava jetinde çapraz akışların gücü dizayndaki dizilimle belirlenebilir. Donovan (2005) çarpan hava jetlerinde akışkan akışını ve ısı transferini Re sayısı, jet-plaka mesafesi ve jetin açısını ele alarak incelemiştir. Baydar ve Ozmen (2006) yüksek Re sayılarında deneysel ve nümerik olarak çarpan hava jetlerinde incelemeler yapmıştır. Hardisty ve Can (1983) nozzle geometrisinin ısı transfer karakteristiğine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Gau ve Chung (1991) yüzeydeki kavisin soğutma akışı ve ısı transfer prosesini irdelemiştir. Gölcü vd., (2012) oto camların temperlenmesinde çarpan hava jetleri ile soğutmanın deneysel incelemesini gerçekleştirmiştir. Geers vd., (2008) çarpan jetlerde altıgen ve sıralı diziler için ısı transferi korelasyonları yapmışlardır. Plaka ve nozzle çıkışı mesafesini 3D-10D ve nozzle aralıklarını 2D-6D almıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda çoklu jetlerde ısı transferinin jet etkileşimlerinden oldukça etkilendiğini görmüşlerdir. Çalışır vd., (2017) üçgen ve kare kanatçıklar üzerine çarpma sonucu akışı incelemiştir. Re sayısı, jet-plaka mesafesi (H/d) ve kanatçık geometrisinin akışa etkisini incelemiştir. Hız artışı ile kare kanatçıklar yüzeyinde ayrışmanın daha erken olduğu görülmüştür. H/d=2 olduğunda

duvar jetlerinin daha etkili olduğu, iki komşu duvar jetinin olduğu ve buna bağlı olarak üçgen kanatçıklı yüzeylerde duvar jeti hızlarının daha etkili olduğunu görmüştür.

Bu çalışmada tek ve çoklu çarpan hava jetlerinde oluşan hız sınırları araştırılmıştır. Bunun için farklı hava hızları, Reynolds sayıları, jet plaka mesafesi (H/D), geometrik boyutu, nozzle sayısı ve nozzle arasındaki uzaklığın hız dağılımı üzerindeki etkileri nümerik olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Çarpan Hava Jetleri

Kurutma, ısıtma ve soğutma gibi yüksek kütleli havaya ihtiyaç duyulan aynı zamanda yüksek ısı transferi de gerektiren alanlarda çarpan hava jetleri oldukça sık kullanılan bir gereçtir. Çarpan hava jetlerine, gıda, kağıt ve tekstil gibi kurutma gerektiren alanlarda, cam temperlenmesinde, elektronik elemanlar ve gaz türbinlerinin soğutulmasında sıkça başvurulmaktadır.

Çarpan hava jetlerinde temel amaç yüzeye oldukça kütleli bir hava gönderip yerel ısı transfer katsayısını yeteri kadar yükseltmektedir. Bunun sebebi akışkanın yüzeye çarpması ile çarpma bölgesinde termal dirence sebep olan sınır tabaka incelmeye ve oradaki ısı taşınım katsayısının artmasıdır. Bu da nozzleden çıkan havanın yüzeye en optimize edilmiş şekilde çarpması ile elde edilir. Örneğin bunlar da şu şekilde olabilir:

- Tekli dairesel nozzle ile
- Tekli slot nozzle ile
- Çoklu dairesel nozzle ile
- Çoklu slot nozzle ile

Tüm bunlara değişik dizilimler ve slot şekilleri eklenebilir. Ayrıca yüzeylere kanatçıklar eklenerek ısı transferini arttırmayı amaçlayan uygulamalar mevcuttur.

Çarpan hava jetlerinin optimizasyonu yapılırken birçok etken parametre göz önüne alınır. Bunların ana başlıkları geometri, ekonomiklik ve verimlilik olarak göz önüne alınabilir. Bunların nedenleri şu şekildedir:

- Nozzle geometrisi: Çarpan hava jetinde geometri ve akış koşulları hedefin davranışına ve akış kaynağına bağlıdır. Basıncın düştüğü durumlarda akışın sağlanması ve boşaltılmasının önemsiz olduğu durumlarda, tasarım amacı verilen hava kütlesi ile olabildiğince çok ısıtma veya soğutma yapmaktır.

- Hız: Akışkanın çıkış hızı hesaplama ve analizlerde önemli yer tutar. Etkilediği en önemli faktörlerden biri Reynolds sayısıdır. Uygulamanın nerede kullanılacağına bağlı olarak büyük önem arz eder. Örneğin bir elektronik sistem soğutulması ile sebze kurutma aynı şartlarda sağlanamaz.

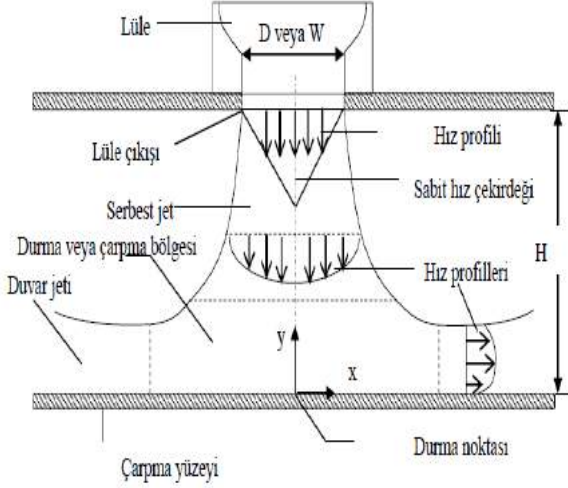
- Sıcaklık: Ortama bağlı olarak kullanıcı değişkenli bir parametredir. Buna bağlı olarak ısıtma da hangi yakıtın kullanılacağına mütevellit bir maliyet ortaya çıkacaktır.

- Fan hızı: Fan hızı da yine hedefe bağlı bir seçimdir. Ancak maliyet hesabında önemli yer tutar. Fan gücü iyi bir analizle seçilerek gerekli seçimler yapılır.

- Jet sayısı: Jet sayısı akışkanın çarpacağı yüzey genişliği ile büyük ölçüde orantılıdır. İyi bir odaklanma sağlamak amacıyla

optimize edilmiş jet çapının yeterli olmadığı durumlarda çoklu jetler ön plana çıkar. Ancak jetler birbirine etkiyerek olumsuzluk yaratabilir.

- Jet dizilimi: Bu konuda deneysel olarak birçok çalışma yapılmıştır. Üçgen, dairesel kare ve diğer bazı geometrilere yapılan araştırmalarda yüzeye çarpan akışın etkideği bölge ve jetlerin hangi durumda birbirine daha az etkideği gibi araştırmalar yürütülmüştür.



Şekil 1. Tekli jet durumunda yüzeye çarpan hava jetinin oluşturduğu akışın temsili davranışı (Elibol ve Türkoğlu, 2017)

2.2. Türbülans Modeli

Türbülanslı akış atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerden yüksek olduğu durumlarda ortaya çıkar. Hız her noktada farklı bir davranış sergiler.

Türbülans modellerinin oluşturulmasındaki amaç analitik olarak çözülmesi zor görülen diferansiyel denklemlerin çözümünde yardımcı olmasıdır. Akışkanlar mekaniğinde bu problem türbülanslı akışta, akış tipine salınımların uygulanamayarak bir türbülans modeli ile çözülmemesidir.

SST k- ω (SST): Standart k- ω modeliyle gerçekçi hız profillerinin yanı sıra, haddinden fazla kayma gerilmesi hesaplandığı belirtilmektedir. Sınır tabaka içerisinde orijinal k- ω modelini, serbest kayma akışlarında ise standart k- ϵ modelini kullanmaktadır.

k kinetik enerji:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \beta^* f_{\beta^*} k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\sigma k}{\sigma x_j} \right] \quad (1)$$

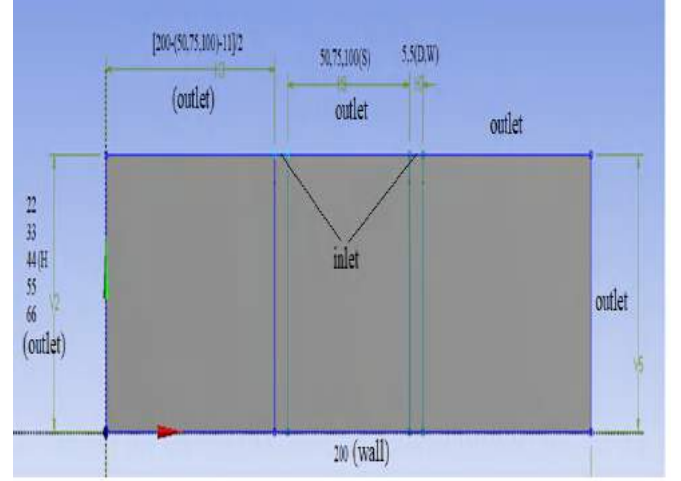
ω yayılım oranı:

$$\rho \frac{D\omega}{Dt} = \alpha \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \beta f_{\beta} k \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega}} \right) \frac{\sigma \omega}{\sigma x_j} \right] \quad (2)$$

Bu konu hakkında yapılan çalışmalar incelenip, yeterli yakınsamaların en iyi alınabildiği türbülans modeli olduğu görülen SST türbülans modeli ile çalışmalar yapılmıştır.

2.3.Çözüm Geometrisi ve Sınır Şartları

Geometride, sabit olarak, havanın çarptığı yüzey ve nozzle çapları sırası ile 200 mm ve 5,5 mm olarak alındı (Şekil 2).



Şekil 2. Geometrik ölçüler

Analizlerde Reynolds sayısı 4100, 7960 ve 12114 olarak ele alındı. $Re = UD/v$ burada $d=0,0055m$, $u=12,23$ ve 35 m/s alınarak Re 4100, Re 7960 ve Re 12114 değerlerine ulaşılmıştır. H/D oranı 4, 6, 8, 10, 12 olarak alındı. Çift nozzle analizinde nozzle arası mesafe $s=50mm$, $75mm$ ve 100 mm olarak alındı.

2.3.1. Sınır Şartları

Analizlerde serbest jet için aşağıdaki sınır şartları kullanılarak çözümler elde edilmiştir.

Jet çıkışında $v=u\infty$ (düzgün hız profili), $u=0$, $T\infty=300K$,

Jet duvarları $u=0$, $v=0$ (duvar şartı),

Hedef plaka üzerinde $u=0$, $v=0$ (duvar şartı) $q=3950$ W/m² (sabit ısı akısı),

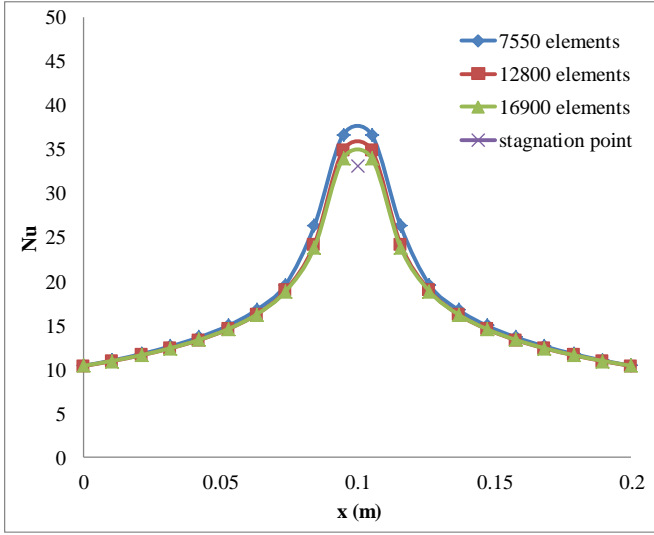
Plakanın solunda $P=0$ kPa (Çıkış şartı),

Plakanın sağında $P=0$ kPa (Çıkış şartı),

Jetin sağ ve solunda $P=0$ kPa (Çıkış şartı).

2.4.Ağdan Bağımsızlık Çalışması

Analizlerde en doğru sonuçları alabilmek için çözüm süresi de göz önüne alınarak ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda kaba ağ (7550), orta ağ (12800) ve sık ağ (16900) olmak üzere 3 yapı seçilmiştir. Geometri, daha doğru sonuçlar alınması amacı ile 3 parçaya ayrılmıştır. Mesh (ağ) yapısında çarpan yüzeye doğru mesh (ağ) sıklığı artırılmıştır.

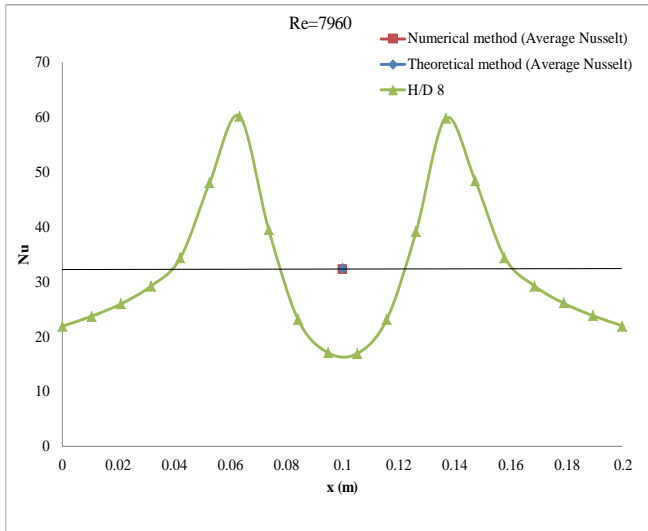


Şekil 3. Farklı ağ (mesh) sayılarına ait sonuçların karşılaştırılması

Şekil 3'de karşılaştırma $H/D=2$ ve 4153 Reynolds sayısında yapılmıştır. 7550 ile 12800 mesh sayılarında yapılan analizlerde ortalama Nusselt değerinde %2.8'lik yakınsama değeri ortaya çıkmıştır. Ortalama Nusselt sayısında %0.5 yakınsama değeri 12800 ile 16900 mesh sayılarında yapılan analizlerde elde edilmiştir. Ağdan bağımsızlık analizi sonucunda, analizlerin de çözüm süresi göz önüne alındığında en uygun mesh sayısı olarak 16900 seçilmiştir. Ayrıca doğrulama çalışması için teorik olarak hesaplanan stagnation noktasının değeri ($x=0.1$ $Nu=33.01$) ile analiz kullanılarak 16900 mesh değerinde hesaplanan değer ($x=0.1$ $Nu=33.95$) arasında %2.7'lik bir fark olduğu görülmüştür.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Doğrulama çalışması için $s=75$ mm, $H/D=8$ ve $u=23$ m/s alınarak analiz yapılmıştır. İki farklı hesaplama sonucunda Nusselt değerinde %0.44'lük bir fark ortaya çıkmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Nümerik ve teorik metodun karşılaştırılması

3.1. Tek ve Çift Nozzle İçin Elde Edilen Sonuçlar

Ağdan bağımsızlık çalışması yapıldıktan sonra H/D , Reynolds ve nozzle sayısının hız sınır tabakası üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 6'de düşük Reynolds sayısı için H/D oranının artması ile istenilen sınır tabaka (turuncu-kırmızı kontur ile gösterilen yüksek hızlı değerler) H/D 8'den sonra giderek kaybolmuştur. Ancak sınır tabaka kalınlığı azalmıştır.

Şekil 7'da ortalama Reynolds sayısında istenilen kırmızı-turuncu kontur daha geniş bir alana yayılmıştır. Burada da H/D 8'den sonra bu tabaka kaybolmaya başlamıştır. Ancak Reynolds sayısının artması ile tabaka kalınlığında bir artış meydana gelmiştir.

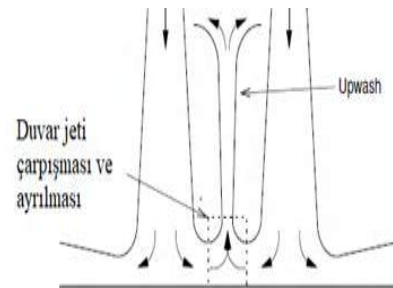
Şekil 8'de yüksek Reynolds sayılarında istenilen kırmızı-turuncu tabakaya H/D 10 mertebesine kadar ulaşılmıştır.

İkili nozzle için Reynolds sayısı 4153, 7960 ve 12114 (hız sırasıyla 12, 23, 35 m/s ve $d=5,5$ mm) $H/D = 4, 6, 8, 10, 12$ ve nozzle arası mesafe $s=50,75$ ve 100 mm alınarak analizler yapılmıştır.

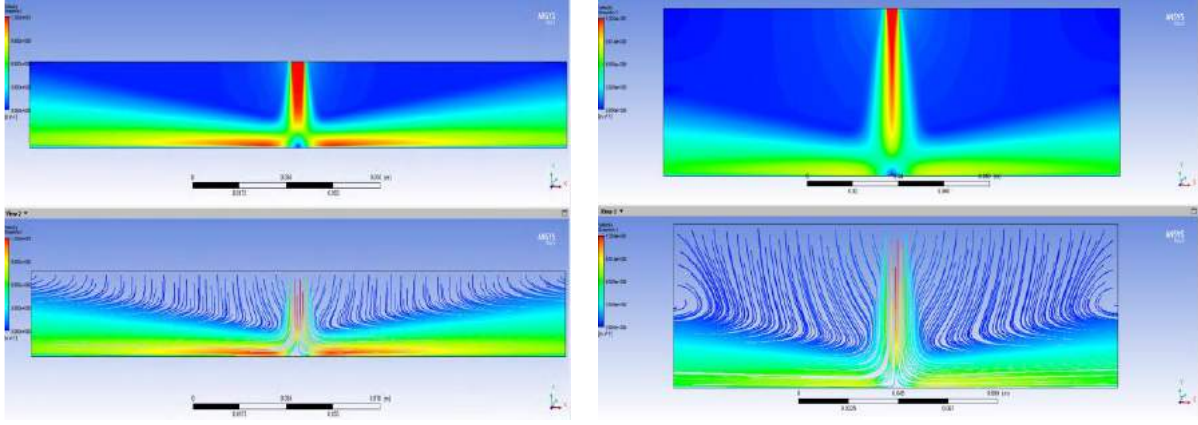
Şekil 9-17'ye göre 50 mm nozzle mesafesi ve 4153 Reynolds sayısında H/D 6'ya kadar istikrarlı bir görüntü çizilirken, H/D 8'den sonra upwash etkisi ile bir istikrarsızlık görülmektedir. Ancak H/D 12 için hız yeterli olmadığı için upwash etkisinde belirgin bir azalma görülmektedir. 75 mm mesafede ise H/D 4 ve 6 için istikrarlı durum geçerli iken H/D 8'de başlayan girdap oluşumu H/D 10 ve 12 için upwash etkisine dönüşmektedir. 100 mm mesafe için ise H/D '8 den sonra efektiflik azalmaktadır.

Ortalama Reynolds sayısında 50 mm nozzle mesafesi için H/D 8'e kadar kabul edilebilir bir görüntü çizerken sonrasında gittikçe artan bir upwash etkisi gözlemlenmiştir. 75 mm ve 100 mm mesafe için kabul edilebilir sonuçlar alınmıştır.

Persoons vd., (2013) akışın yüzeye tam paralel duruma geldiği bölge duvar jetidir. Çoklu jet durumunda duvar jetlerinin etkisi ortaya çıkar. Çünkü bu jetlerin birbiri ile etkileşime girmesi bu bölgede gerçekleşir. Bundan kaynaklı jetlerin orta noktalarında bir durgunluk noktası daha oluşacaktır. Duvar jetleri çarpışması ilginç bir akış özelliğine neden olur. Barata vd., (1993) iki bitişik jet arasında bir 'upwash flow' olduğunu tespit etti. Bu şekil 5'de verilmiştir. Bu akış duvar jetlerin in çarpışması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu çarpan hava jetlerinin içeri girmesini engeller ve çıkış havasının boşalması için iki mekanizma sağlar. 'Upwash flow' daki çıkış havasının bir kısmı komşu jetler içine sürülürken diğer kısmı bu çarpışmayı önleyerek nozzle plakası boyunca boşaltılır.

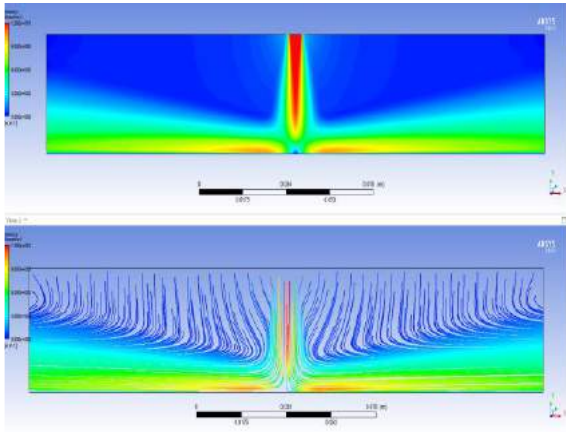


Şekil 5. İki duvar jetin çarpışması ve 'upwash flow' gösterimi



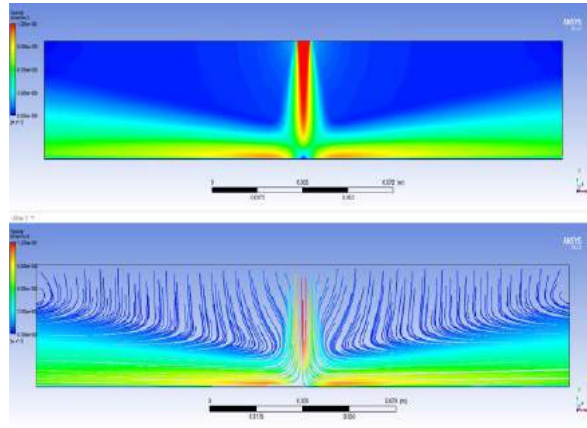
(a)

(c)



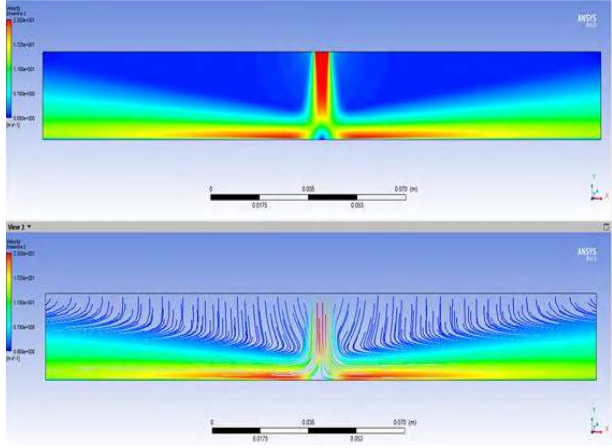
(b)

(d)

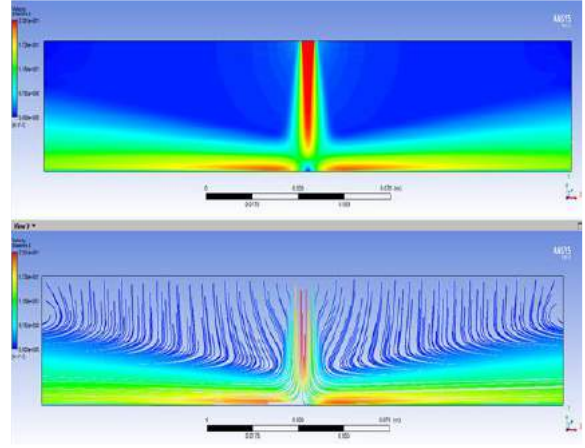


(e)

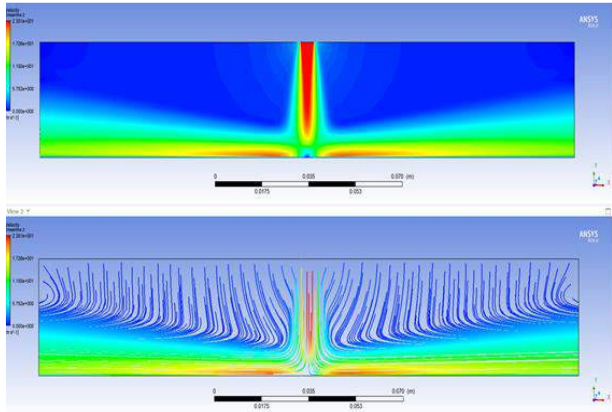
Şekil 6. 4153 Re sayısı için hız dağılımları (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



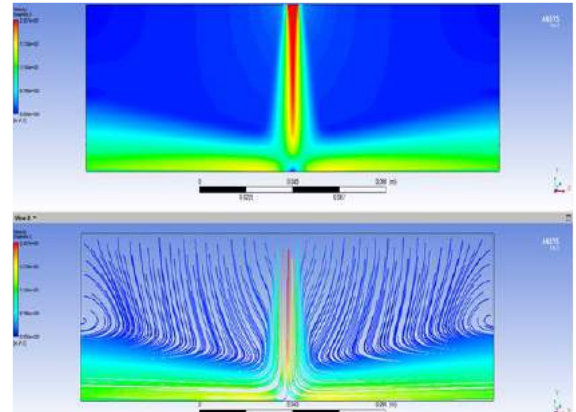
(a)



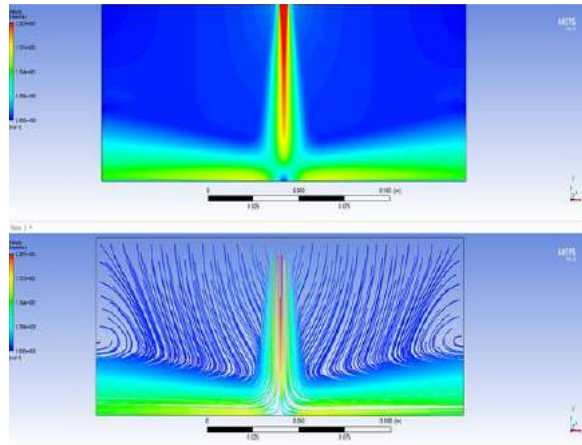
(c)



(b)

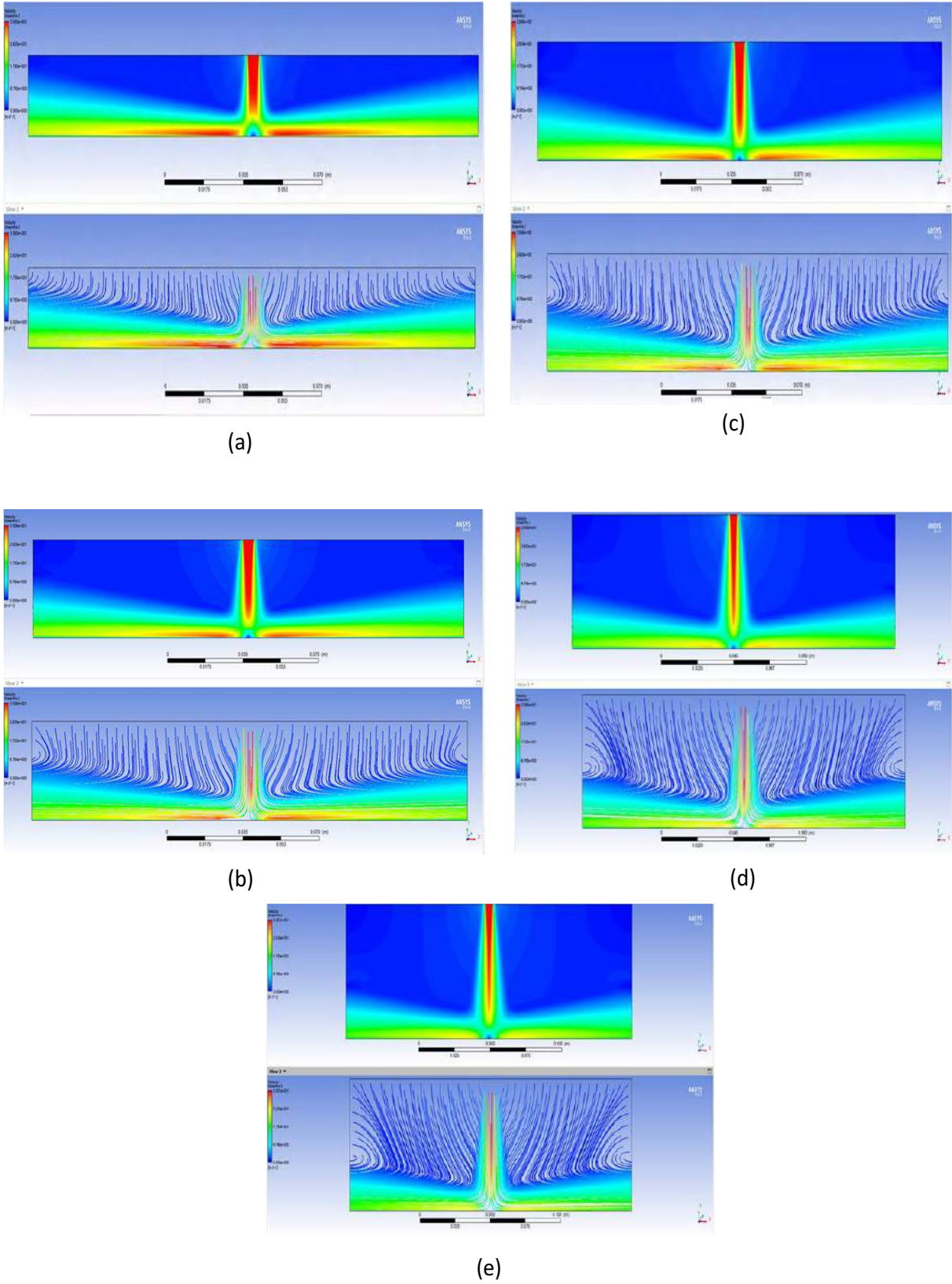


(d)

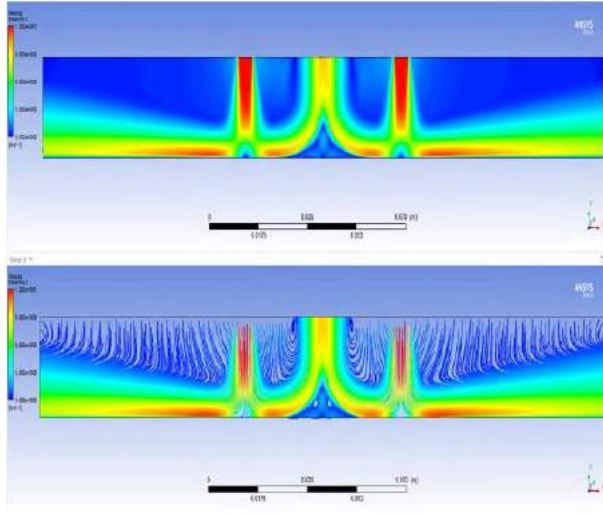


(e)

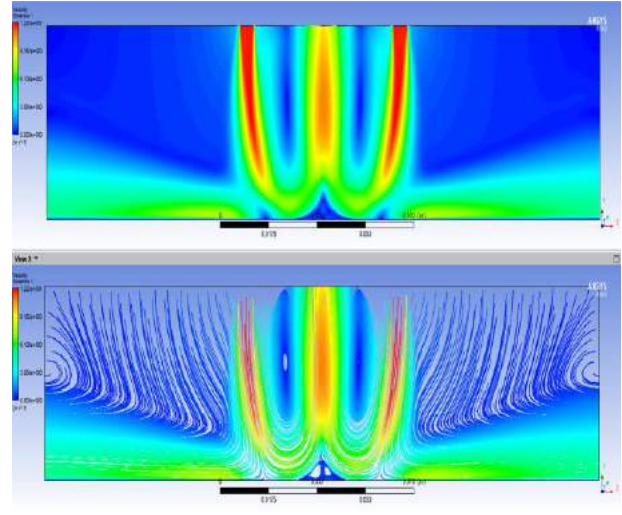
Şekil 7. 7960 Re sayısı için hız dağılımları (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



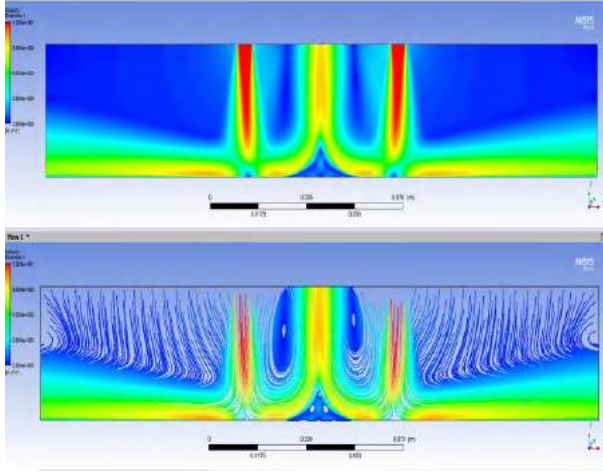
Şekil 8. 12114 Re sayısı için hız hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



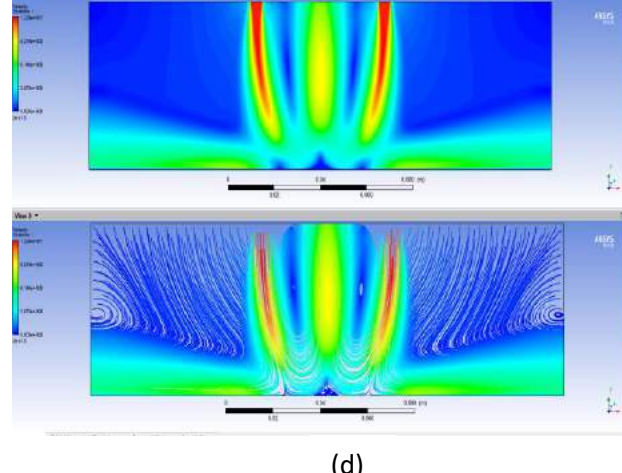
(a)



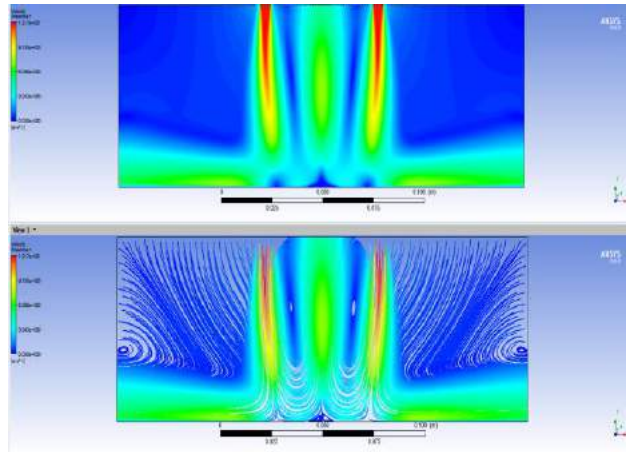
(c)



(b)

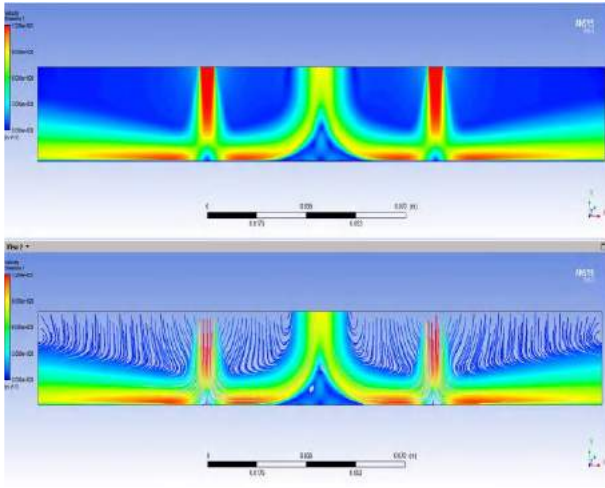


(d)

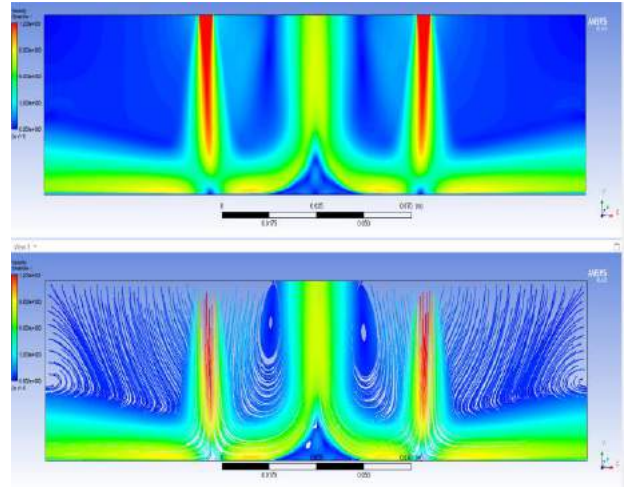


(e)

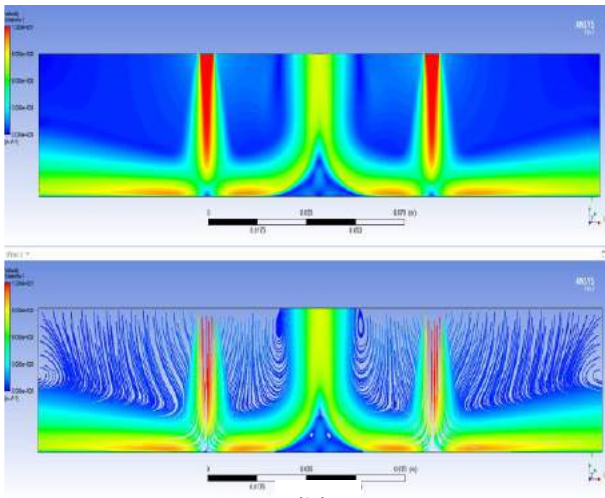
Şekil 9. $S = 50$ mm, $Re = 4153$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



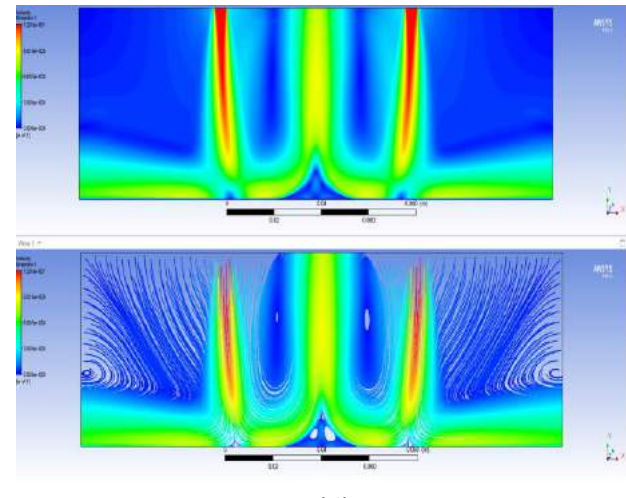
(a)



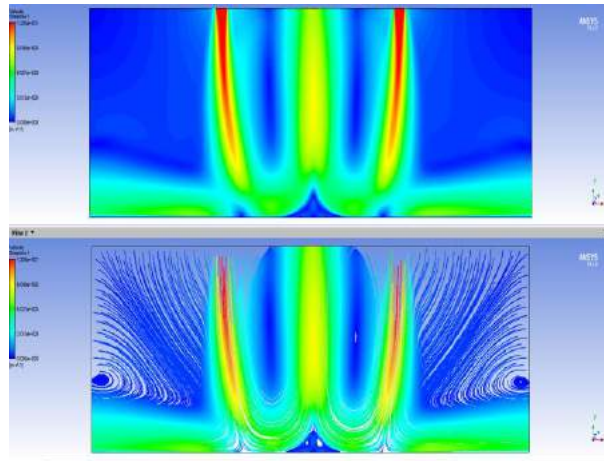
(c)



(b)

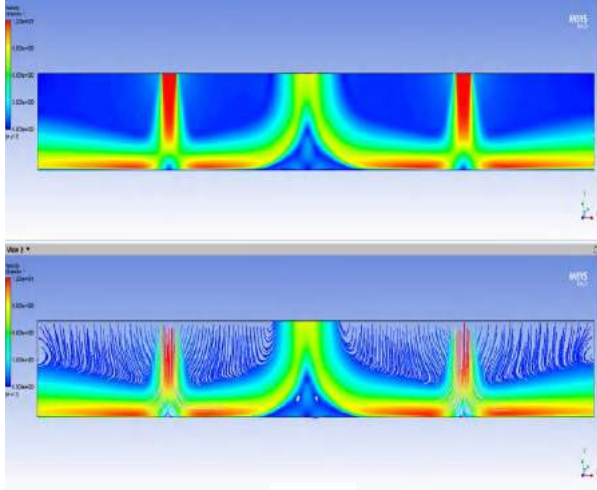


(d)

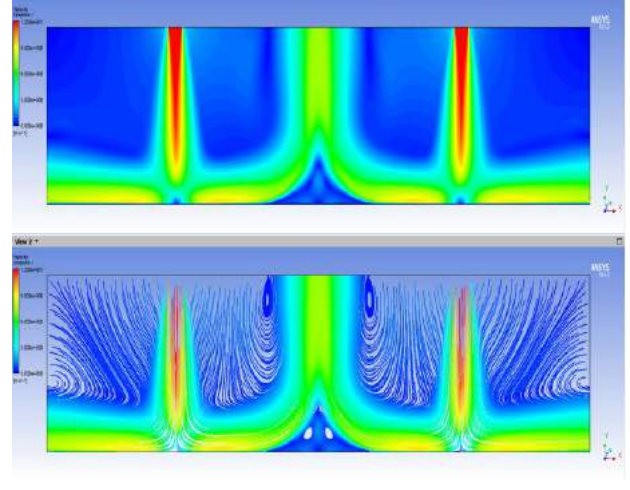


(e)

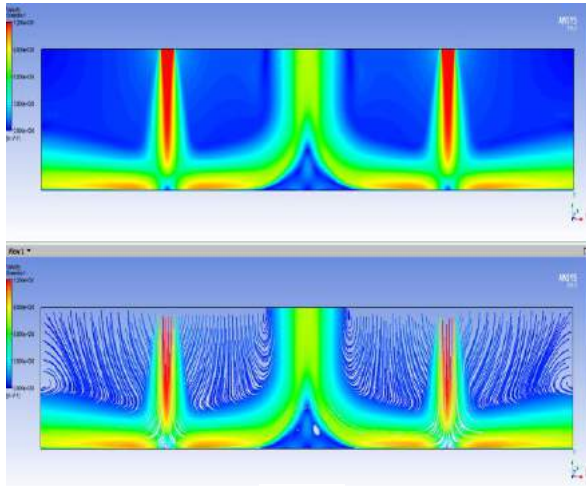
Şekil 10. $S = 75 \text{ mm}$, $Re = 4153$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



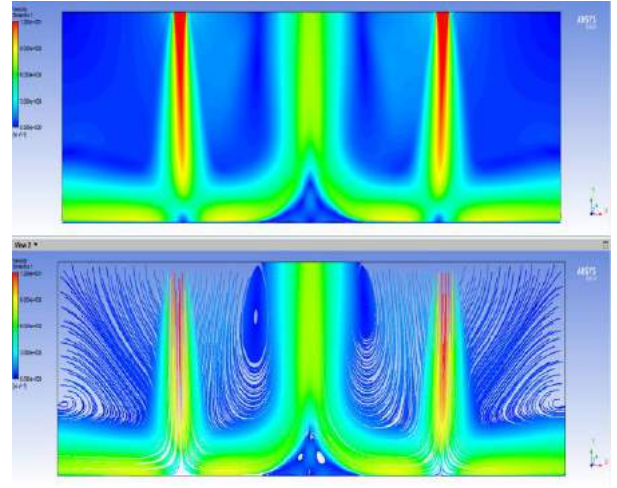
(a)



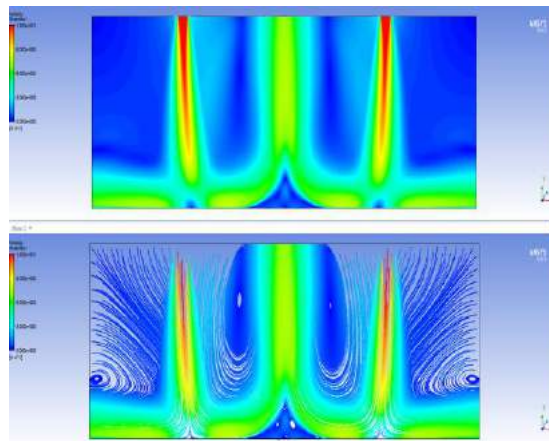
(c)



(b)

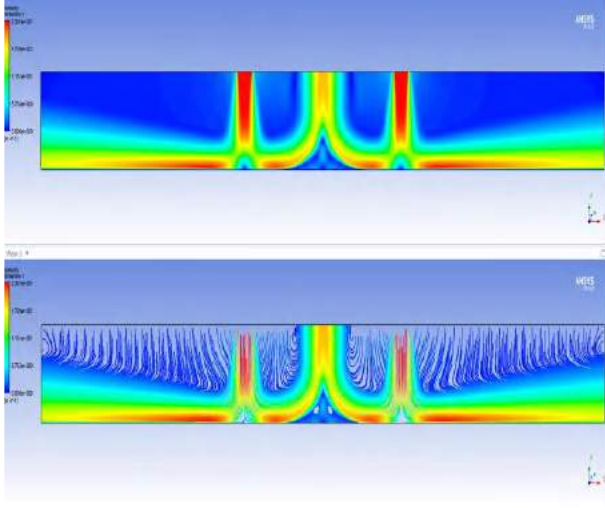


(d)

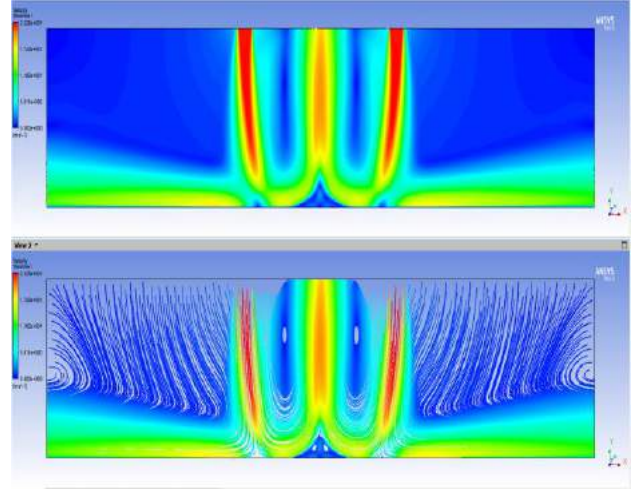


(e)

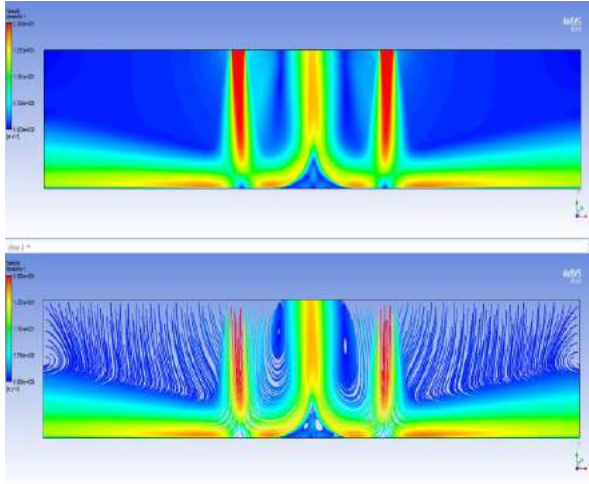
Şekil 11. $S=100$ mm, $Re=4153$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



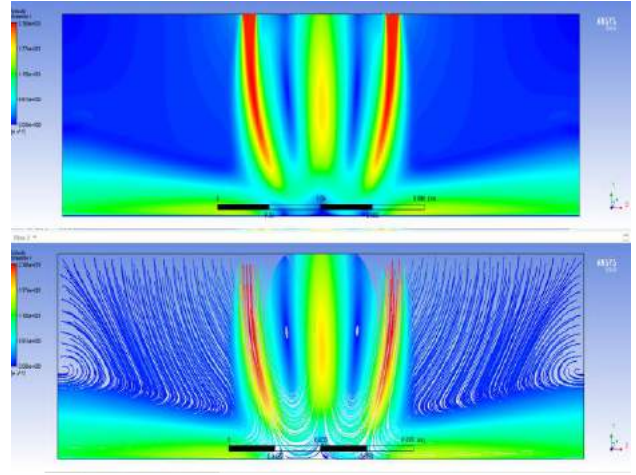
(a)



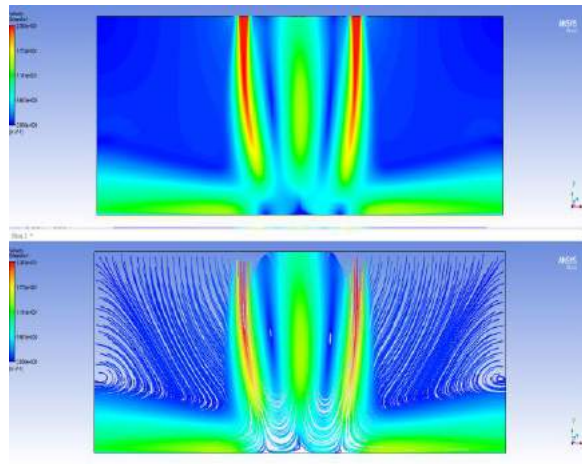
(c)



(b)

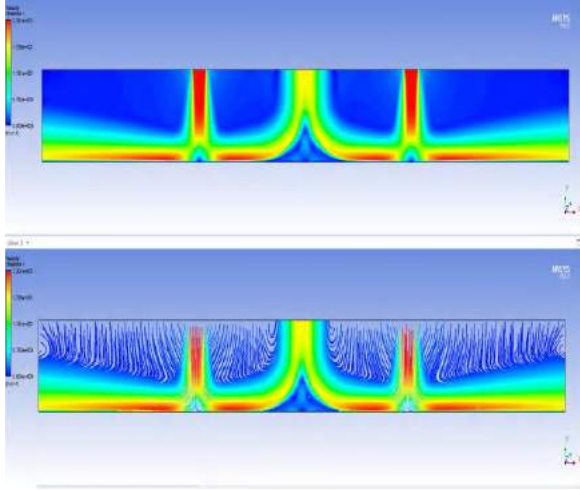


(d)

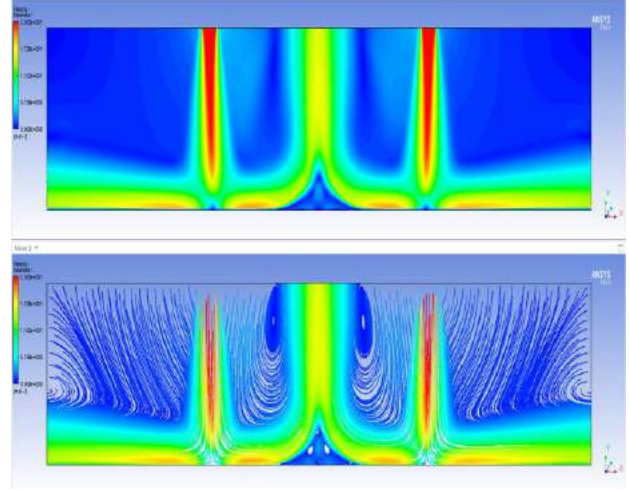


(e)

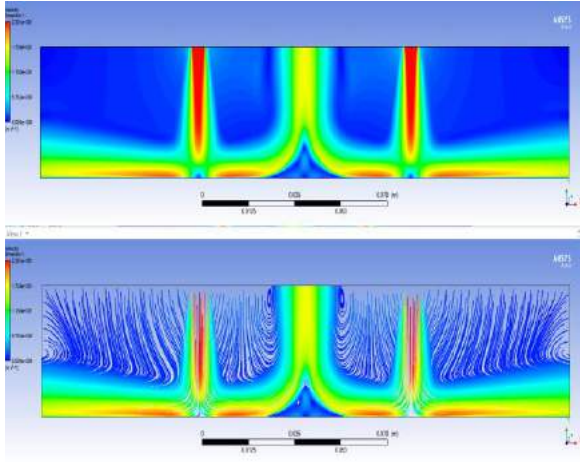
Şekil 12. $S = 50 \text{ mm}$, $Re = 7930$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



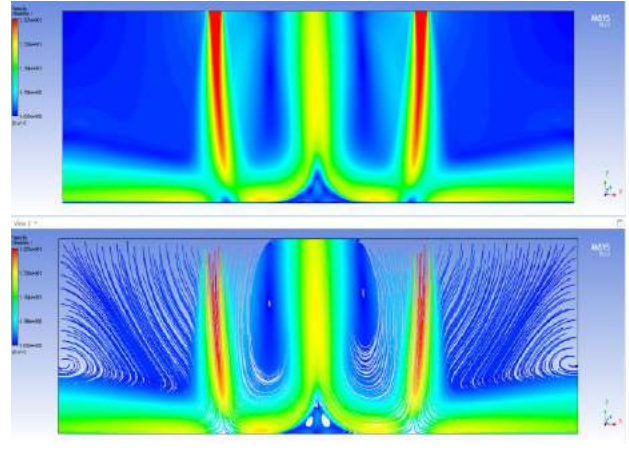
(a)



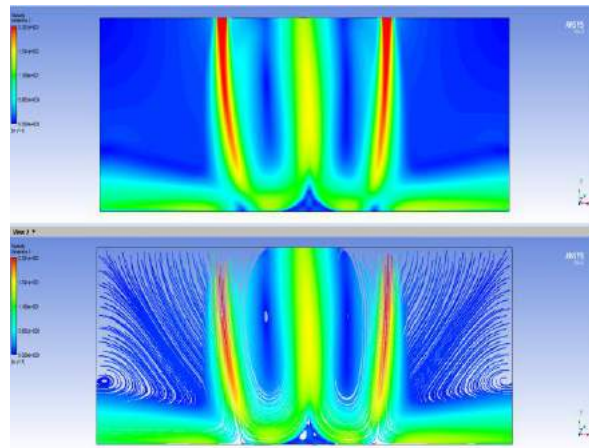
(c)



(b)

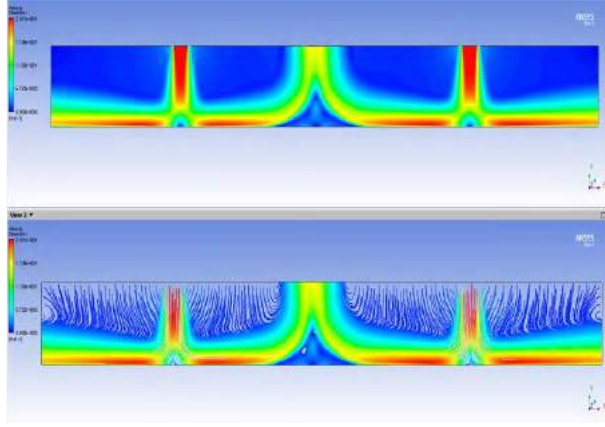


(d)

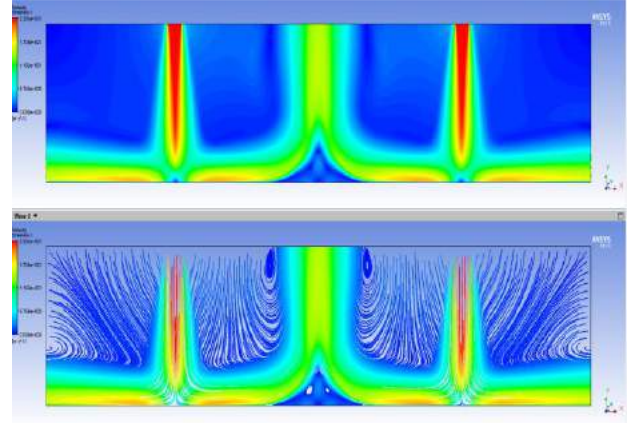


(e)

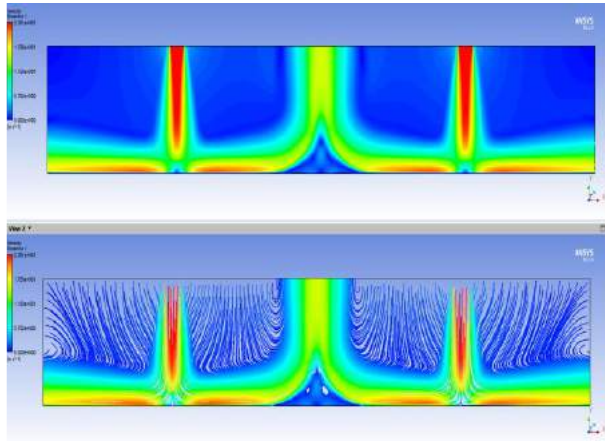
Şekil 13. $S = 75 \text{ mm}$, $Re = 7930$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



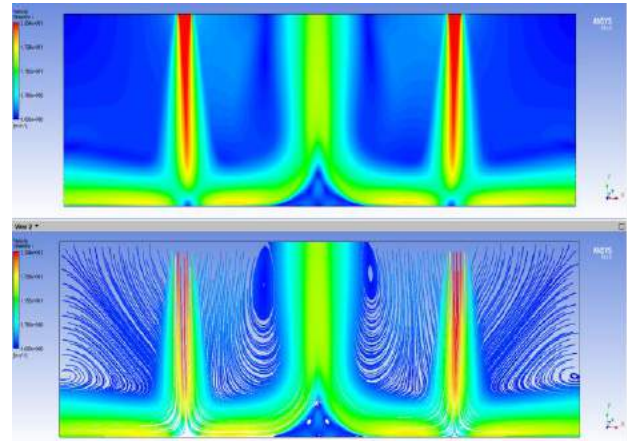
(a)



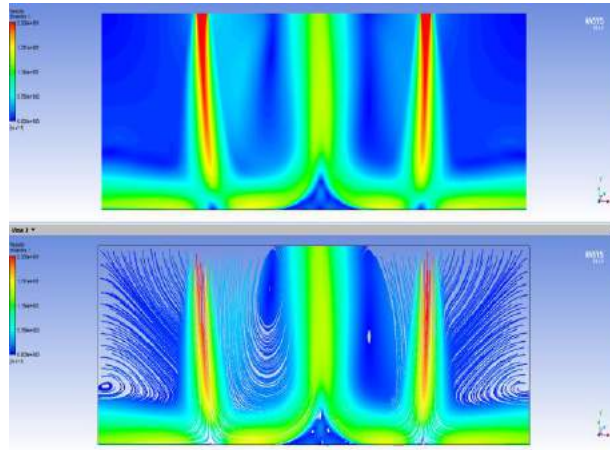
(c)



(b)

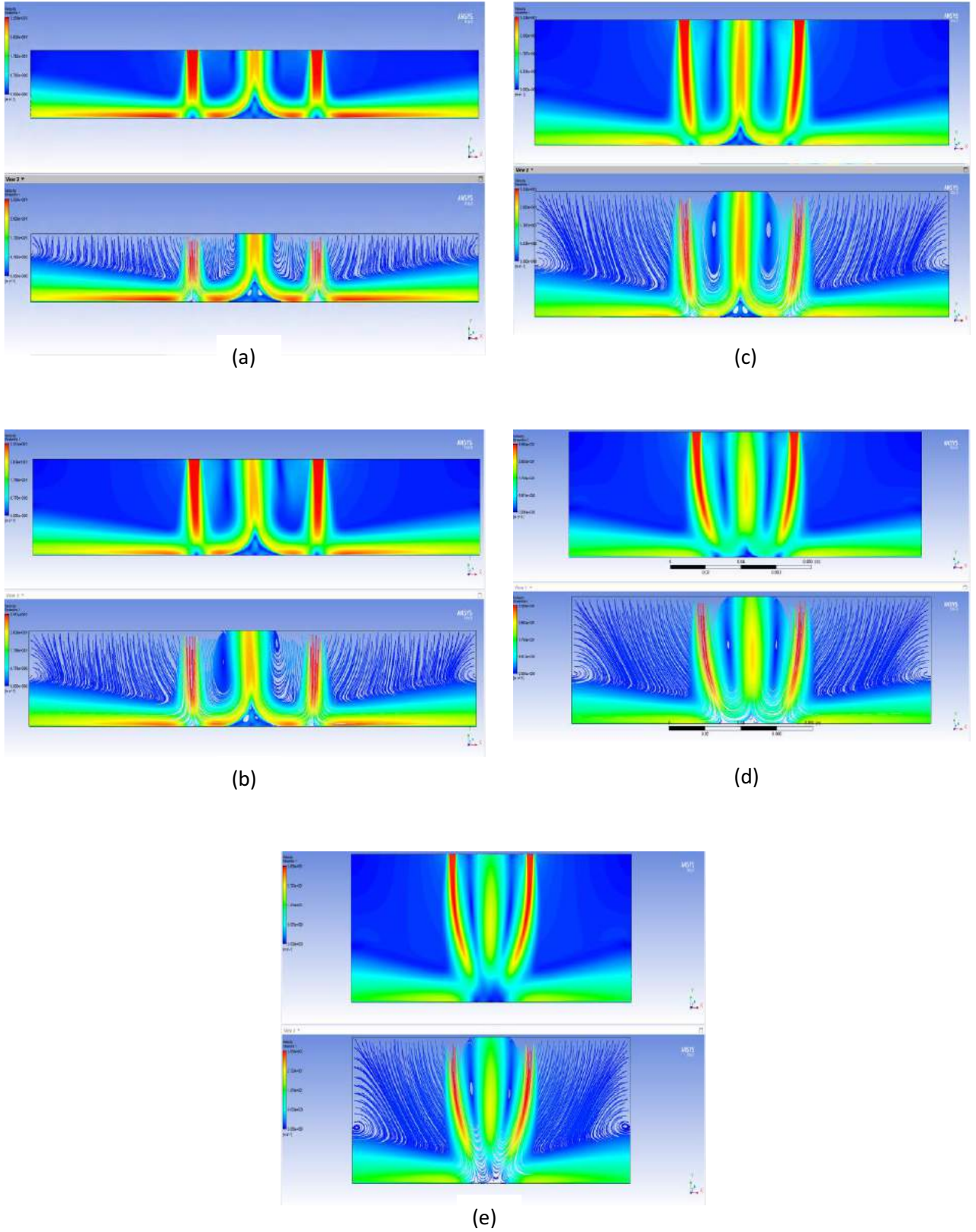


(d)

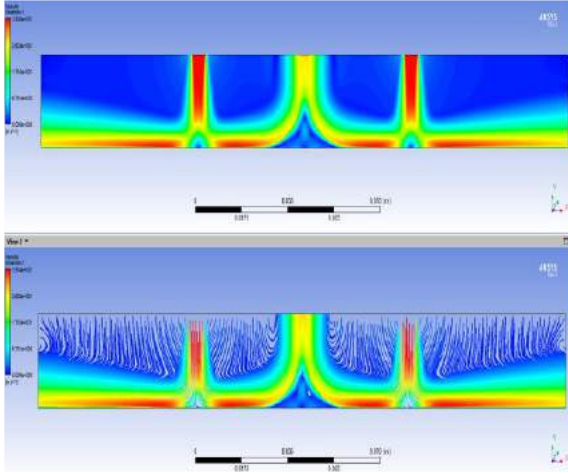


(e)

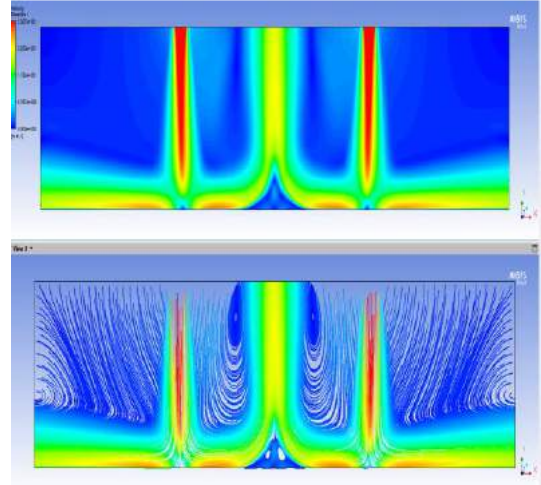
Şekil 14. $S = 100 \text{ mm}$, $Re = 7930$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



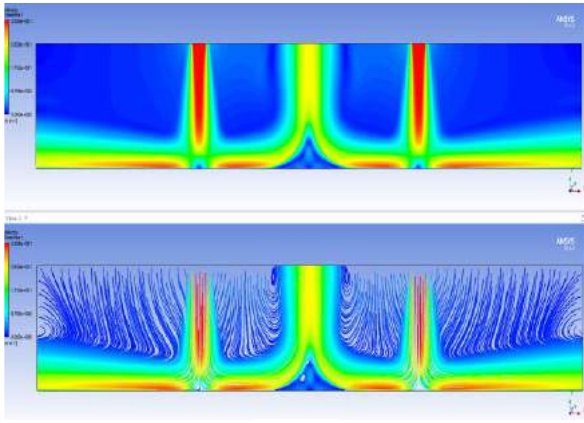
Şekil 15. $S= 50 \text{ mm}$, $Re= 12100$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



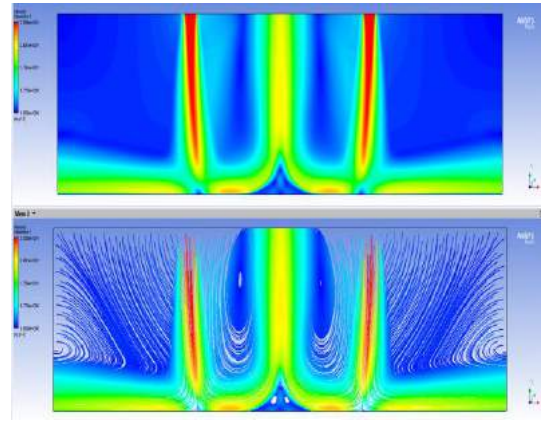
(a)



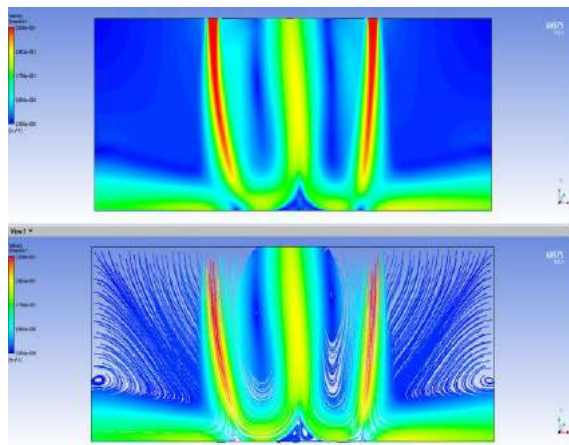
(c)



(b)

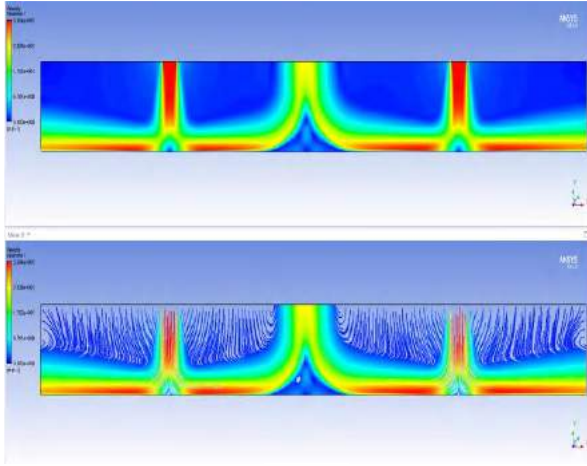


(d)

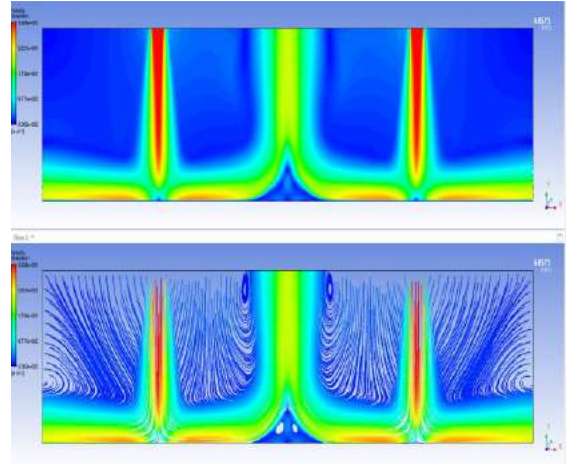


(e)

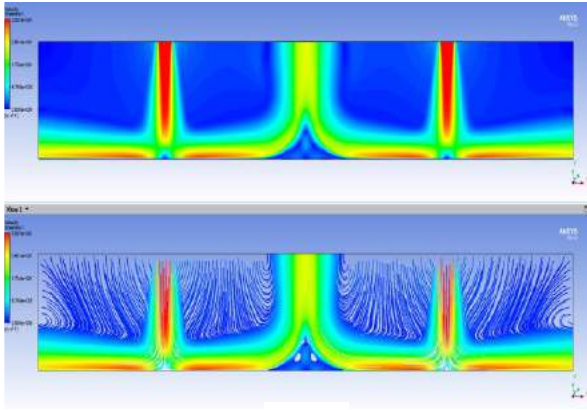
Şekil 16. $S = 75 \text{ mm}$, $Re = 12100$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)



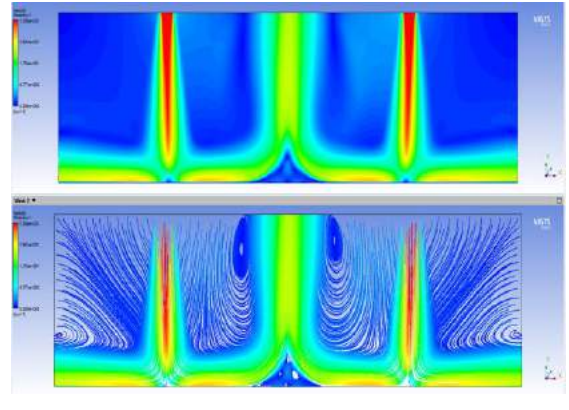
(a)



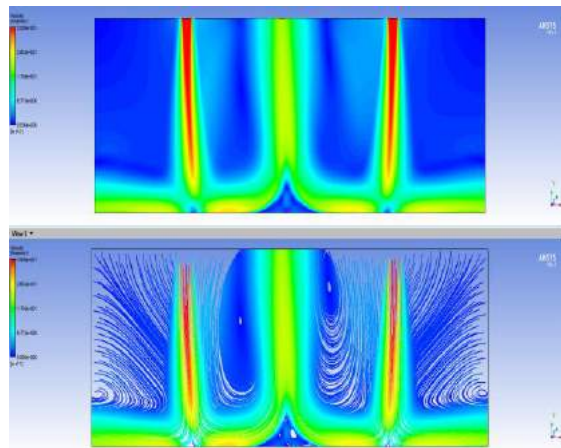
(c)



(b)



(d)



(e)

Şekil 17. $S = 100$ mm, $Re = 12100$ ve farklı H/D oranları için hız değişimi ve akım çizgileri (a- H/D 4, b- H/D 6, c- H/D 8, d- H/D 10, e- H/D 12)

4. Sonuç

Bu çalışmada çarpan hava jetlerinde hız dağılımı nümerik olarak incelenmiştir. Hız, geometri boyutları (H/D mesafesi), nozzle sayısı ve nozzle arası mesafe incelenen parametrelerdir. Beklenildiği gibi en yüksek etkiler Reynolds sayısına bağlı değişimlerde görülmüştür. Çarpan hava jetinde etkili olabilecek parametreler H/D mesafesi, hız, nozzle sayısı ve genişliği ve çoklu jetlerde nozzle arası mesafe olarak sayılabilir. Düşük Reynolds sayısı için H/D oranının artması ile istenilen hız sınır tabaka H/D 8'den sonra giderek azalmıştır. Ancak Reynolds sayısının artması ile hız sınır tabaka kalınlığında bir artış meydana gelmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında 50 mm nozzle mesafesi için istenilen efektiflik elde edilememiştir. 75 mm ve 100 mm nozzle mesafesinde özellikle H/D 4 için istenilen hız sınır tabakası elde edilmiştir.

Etkili ısıtma istenen durumda sistemin çalışma prensibine göre tek veya çift nozzle, hız gibi parametreler ile değişim yapılabilir. Ancak sistemde yapılacak her değişimin artı bir maliyet getirebileceği unutulmamalıdır.

Isı transferini arttırmanın bir yolu, ısı transferinin artması istenen yüzeyde türbülansı arttırmaktır. Bunun için literatürde yapılmış çalışmalar mevcuttur. Yüzeye kanatçık yerleştirerek burada türbülans nedeni ile oluşabilecek ısı transferini arttırmak, yapılacak ekstra maliyetler yerine daha uygun bir seçim olabilir.

Bu çalışmada göz önünde bulundurulması gereken durumlar, araştırmaların nümerik olmasından dolayı bilgisayara bağlı gerçekleştirilecek bir sorunun sonucu etkileyebileceği veya referans değerlerine bağlı olarak sonuçlarda yanlışlıklar görülebileceği unutulmamalıdır. Ayrıca analizin en önemli kısımlarından biri sonucun ağdan (mesh) bağımsızlık kısmıdır.

Kaynakça

- Barata, J.M.M., Durão, D.F.G., Heitor, M.V., McGuirk, J.J. (1993). On the analysis of an impinging jet on ground effects, Experiments in Fluids, 15, 117–129. doi: 10.1007/BF00190951.
- Baydar, E., Ozmen, Y.(2006). An Experimental Investigation on Flow Structures of Confined and Unconfined Impinging Air Jets, Heat Mass Transfer, 42, 338. doi: 10.1007/s00231-005-0021-6.
- Çalışır, T., Başkaya, Ş., Çalışkan, S., ve Kılıç, M. (2017). Çarpan akışkan jetleri kullanarak kanatçıklı yüzeyler üzerindeki akış alanının sayısal olarak incelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32:1, 119-130. doi: 10.17341/gazimmfd.300601.
- Çelik, N., Eren, H. (2009). Çarpan Dairesel Bir Jette Çarpma Bölgesi Türbülans Şiddetinin Isı Transferine Etkisi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30(1), 91-98.
- Ememoglu, A.B., Ulcay, Y., Can, M., Avci, A. (2009). Mathematical modelling of combined diffusion of heat and mass transfer through fabrics, Fibers and Polymers, 10(2), 252-259. doi: 10.1007/s12221-009-0252-0.
- Ememoglu, A.B. (2003). Mathematical modelling of simultaneous heat and mass transfer in heterogeneous materials, Ph.D. Thesis, University of Uludag, Turkey.
- Elibol, E.A., Türkoğlu, H. (2017). Gözenekli Düz Bir Yüzeye Çarpan Jetin Sayısal Olarak İncelenmesi, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 7(1), 9-28.
- Fregeau, M., Saeed, F., Paraschivou, I. (2003). Numerical Heat Transfer Correlation For Array of Hot-Air Jets Impinging On

- 3-Dimensional Concave Surface, 21st AIAA Applied Aerodynamics Conference, AIAA 2003-3403, June.
- Garimella, V.P. (2001). Local Heat Transfer Distributions in Confined Multiple Air Jet Impingement, CTIC Research Publications, 299. doi: 10.1115/1.1371923.
- Gau, C., Chung, C.M. (1991). Surface Curvature Effect on Slot-Air-Jet Impingement Cooling Flow and Heat Transfer Process, Journal of Heat Transfer, 113:4(4). doi: 10.1115/1.2911214.
- Geers, L.F.G., Tummers, M.J., Bueninck, T.J., Hanjalić, K. (2008). Heat transfer correlation for hexagonal and in-line arrays of impinging jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 51, Issues 21–22. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.01.035.
- Gölcü, M., Yazıcı, H., Akçay, M., Köseoğlu, M. F., Sekmen, Y. (2012). Oto Camların Temperlenmesinde Çarpan Hava Jetleri İle Soğutmanın Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 27, 775-783.
- Hardisty, H., Can, M. (1983). An experimental investigation into the effect of changes in the geometry of a slot nozzle on the heat transfer characteristics of an impinging air jet, Proc. Inst. Mech. Engs., 197C, 7-15. doi: 10.1243/PIME_PROC_1983_197_071_02.
- O'Donovan, T.S. (2005). Fluid Flow And Heat Transfer Of An Impinging Air Jet, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical & Manufacturing Engineering, Trinity College, Dublin.
- Persoons, T., Balgazin, K., Brown, K., Murray, D.B. (2013). Scaling of Convective Heat Transfer Enhancement Due to Flow Pulsation in an Axisymmetric Impinging Jet, ASME. J. Heat Transfer, 135(11) November.
- Weigand, B., Spring, S. (2009). Multiple Jet Impingement – A Review, Int. Symp. on Heat Transfer in Gas Turbine Systems, Antalya, Turkey.



Killi Zeminin Kayma Mukavemetine Cam Lifi ve Su İçeriğinin Etkisi

Mehmet Fatih Yazıcı^{1*}, Ahmetcan Sungur², Sıddıka Nilay Keskin³

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3557-7817), mehmetyazici@sdu.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 100/2000 YÖK Doktora Bursiyeri, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6200-7601), ahmetcansungur@gmail.com

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0367-943X), nilaykeskin@sdu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011840)

ATIF/REFERENCE: Yazıcı, M.F., Sungur, A. & Keskin, S.N. (2021). Killi Zeminin Kayma Mukavemetine Cam Lifi ve Su İçeriğinin Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, (28), 890-894.

Öz

Günümüzde yüksek mukavemetleri ve ekonomik olmaları nedeniyle rastgele dağıtılmış ayırık lifler ile zeminlerin güçlendirilmesi tekniği geleneksel zemin güçlendirme tekniklerine bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Mevcut çalışmada düşük plastisiteli kil zeminin kayma mukavemeti özellikleri üzerine cam lif ilavesi ve su içeriğinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaç için üç farklı su içeriğinde; optimum su muhtevasında, altında ve üstünde (%13, %15 ve %17) ve ağırlıkça üç farklı lif oranında (%1,0, %1,5 ve %2) lif-kil karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kayma mukavemetleri direkt kesme deneyinde incelenmiştir. Sonuç olarak en yüksek kohezyon, içsel sürtünme açısı ve kayma mukavemeti değerlerinin %13 ve %15 su muhtevası için sırasıyla %1 ve %1,5 lif içeriklerinde meydana geldiği gözlenmiştir. Buna karşılık %17 su muhtevası için optimum bir lif içeriğinin gözlenmediği, lif içeriğinin artması ile bu değerlerin sürekli arttığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca su içeriğinin artması ile lif-zemin arası adezyon etkisinin azalması sonucu kayma mukavemetinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Cam lif, Zeminlerin güçlendirilmesi, Su içeriği, Direkt kesme deneyi, Kayma mukavemeti.

The Effect of Glass Fiber and Water Content on Shear Strength of Clayey Soil

Abstract

Today, the reinforcement with randomly distributed discrete fibers of soils stands out as an alternative to traditional soil reinforcement techniques due to their high strength and being economical. In the present study, the effects of glass fiber addition and the water content on the shear strength properties of low plasticity clay soil were investigated. For this purpose, fiber-clay mixtures were prepared at optimum water content (OWC), below OWC and above OWC (13%, 15% and 17%) and three different fiber ratios (1.0%, 1.5% and 2%) by weight. Shear strengths of the prepared samples were investigated in direct shear test. As a result, it was observed that the highest cohesion, internal friction angle and shear strength values occurred at 1% and 1.5% fiber contents for 13% and 15% water content, respectively. On the other hand, it was concluded that an optimum fiber content was not observed for 17% water content, and these values increased continuously with increasing fiber content. In addition, it was observed that the shear strength decreased as a result of the reducing in the adhesion effect between the fiber and the soil with the increase in the water content.

Keywords: Glass fiber, Soil reinforcement, Water content, Direct shear test, Shear strength.

* Corresponding Author: mehmetyazici@sdu.edu.tr

1. Giriş

Geoteknik mühendisliğinde, zeminlerin güçlendirilmesi üzerine literatürde birçok çözüm yolu önerilmektedir. Bu amaç için genellikle çimento ve kireç gibi kimyasal katkıları ile (kimyasal stabilizasyon) ve/veya geosentetik şeritler veya donatıların zemin içerisine yerleştirilmesi ile (mekanik stabilizasyon) zeminlerin güçlendirilmesi yoluna gidilmektedir. Kimyasal stabilizasyon malzemelerinin üretimi aşamasında yenilenemeyen kaynakların tüketimi ve çevreye verilen zararlar bu yöntemin dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekanik stabilizasyon yöntemlerinde ise donatılar yatay ve/veya düşey yönde zemin içerisine yerleştirilmekte ve sadece güçlendirilmiş bölgelerde mukavemet artışı sağlanmakta, güçlendirme elemanlarının bulunmadığı düzlemler potansiyel zayıflık düzlemleri olarak kalmaktadır. Tüm bu nedenlerden ötürü günümüzde zeminlerin stabilizasyonunda kullanılacak ekonomik, çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif malzemelere olan ihtiyaç artmaktadır. Yeterli mukavemetleri ve ekonomik olmalarından dolayı son zamanlarda rastgele dağıtılmış doğal ve sentetik lifler ile zeminlerin stabilizasyonu araştırma konusu olmuştur. Rastgele dağıtılmış ayrı lifler ile güçlendirilmiş zeminlerde, geleneksel mekanik stabilizasyon yöntemlerinde meydana gelen potansiyel zayıflık düzlemleri oluşturulmadan izotropik mukavemet artışı sağlanmaktadır (Gray ve Maher 1989, Maher ve Gray 1990, Yetimoğlu ve Salbaş 2003, Estabragh vd. 2011, Anagnostopoulos vd. 2013). Literatürde rastgele dağıtılmış lifler ile zeminlerin güçlendirilmesi tekniği üzerine yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

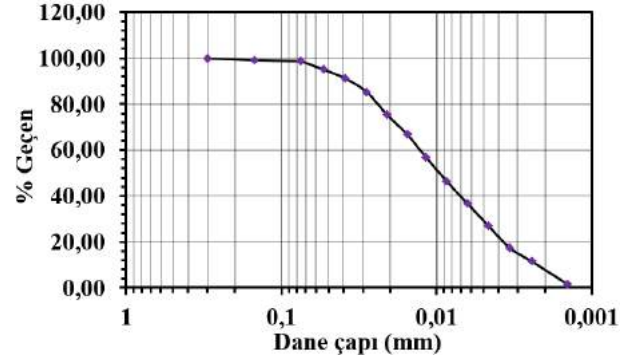
Baruah (2015), 10 mm uzunluğunda ve ağırlıkça %0,5-1,5 içeriklerinde cam lif ile güçlendirdiği kırmızı kilin serbest basınç mukavemetinin lif içeriğinin artması ile arttığını belirtmiştir. Saha ve Bhowmik (2018), kum-kil karışımının kayma dayanımı özellikleri üzerine %0,5-1,5 içeriğinde cam lif ilavesinin ve su muhtevasının etkilerini araştırmışlar ve kayma dayanımı kazanımı açısından %1 lif içeriğinin optimum değer olduğunu ifade etmişlerdir. Asadollahi ve Dabiri (2017), 10 mm uzunluğunda ve %0,2-1 miktarlarında cam lif ile güçlendirdikleri kil zeminin dayanımında en yüksek artışın %0,8 lif içeriğinde meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca lif takviyesi ile zeminin daha sünek bir davranış sergilediğini ifade etmişlerdir. Abdeldjouad vd. (2019), çalışmalarında zemin stabilizasyonunu sağlayabilmek için cam lifler ile birlikte yakıt külü takviyeli palmiye yağı kullanmışlar ve cam lif oranının %3 ve %3'ten büyük olduğu durumlarda gerilme-şekilde değişime davranışında iyileşme gözlemlemişlerdir.

Literatürde düşük plastisiteli kil zeminin kayma mukavemeti üzerine cam lifi ilavesi ve su içeriğinin etkilerinin incelendiği çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, kil zemin numunesi içerisine, zeminin kuru ağırlığının ağırlıkça %1, %1,5 ve %2 oranlarında cam lifi rastgele bir şekilde ilave edilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Ayrıca cam lif ile birlikte su içeriğinin zeminin kayma mukavemeti üzerine etkisini gözlemlemek için, optimum su içeriğinde (OSİ) (%15) ve OSİ±2 (%13 ve %17) olmak üzere aynı cam lif oranlarında da deney serileri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler direkt kesme deneyine tabi tutularak, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve kayma mukavemeti değerlerinin değişimi incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Malzemeler

Bu çalışma kapsamında kullanılan kil zemin, Burdur ilinin Kemer ilçesine bağlı Akçaören köyünden alınmıştır. Kil zemine ait granülometri eğrisi ile zeminin özellikleri sırasıyla Şekil 1 ve Tablo 1'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre zeminin sınıfı düşük plastisiteli kil (CL) olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Granülometri eğrisi

Zeminin güçlendirilmesi amacı ile 6 mm uzunluğa ve 13-15 µm çapa sahip cam lif malzemesi kullanılmıştır (Şekil 2). Cam life ait mekanik ve fiziksel özellikler üretici firmadan alınmış olup bu özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kil zeminin özellikleri

Özellikler	Değer
Likit limit (%)	35
Plastik limit (%)	19
Plastisite indisi (%)	16
Max. kuru yoğunluk (gr/cm ³)	1,75
Optimum su muhtevası (%)	15
Özgül ağırlık	2,73
No #200 Elek Altı Malzeme (%)	98,8
Zemin Sınıfı: Düşük Plastisiteli Kil (CL)	

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Literatürde liflerin segregasyonundan kaçınmak, zemin içerisinden liflerin üniform dağılmasına ve izotropik yönlenebilirliğine imkan tanımak için numunelerin hazırlanması aşamasında farklı yöntemler dikkate alınmıştır (Murray vd. 2000, Marandi vd. 2008, Sadeghi ve Beigi 2014, Soğancı 2015, Gao vd. 2017, Motiram vd. 2018, Tran vd. 2018, Liu vd. 2020). Bu yöntemlerden en uygun olanının seçilmesi, esasen lifin özelliklerine ve zemin türüne bağlı olarak değişmektedir (Falorca ve Pinto 2011). Lif-zemin karışımlarının oluşturulmasında liflerin zemin içerisine homojen dağılmasını sağlamak, liflerin belirli bölgelerde yoğunlaşmasını ve toplanmalarının oluşmasını önlemek gerekmektedir. Homojen lif-zemin karışımlarının oluşturulması büyük ölçüde, zemin ve lif malzemelerinin karıştırılması aşamasında kullanılan karıştırma yöntemine bağlıdır. Literatürde el ile karıştırma yöntemi, küçük ölçekli laboratuvar işlerinde yaygın bir şekilde kullanılmakta ve bu karıştırma yöntemi ile liflerin dağılımının gözlenebilmesi bu yöntemin bir avantajı olarak karşımıza çıkmaktadır (Yetimoğlu ve Salbaş 2003, Falorca ve Pinto 2011, Choo vd. 2017, Sujatha vd. 2020). Sonuç olarak bu çalışma kapsamında lif-zemin karışımlarının hazırlanması aşamasında el ile karıştırma yöntemi

Tablo 2. Cam lifin özellikleri

Lif türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Lif Çapı (µm)	Lif Uzunluğu (mm)
Cam	2,60	3,4	77	13-15	6

tercih edilmiştir. Karışımda kullanılacak lif miktarının belirlenmesi için Eşitlik (1)'de verilen gravimetrik lif yüzdesi kullanılmıştır.

$$P_f = \frac{M_f}{M_k} \quad (1)$$

Burada Pf; ağırlıkça lif yüzdesini, Mf; liflerin ağırlığını, Mk; zeminin kuru ağırlığını temsil etmektedir.

Cam lif takviyesinin kil zeminin kayma mukavemeti parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla kuru zemin içerisine ağırlıkça %1, %1,5 ve %2 miktarlarında lif ilave edilmiştir. Lif-zemin karışımına su muhtevasının etkilerini de gözlemleyebilmek için bu çalışma kapsamında OSİ ve OSİ±2 miktarlarında su kullanılmıştır. Daha önceden etüvde kurutulmuş zemin içerisine ilk olarak ilgili miktarda cam lif malzemesi ilave edilmiş ve karıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu karışıma %13, %15 ve %17 oranlarında su eklenmiş ve liflerin zemin içerisinde homojen dağılması sağlanana kadar karışım el ile karıştırılmıştır. Her bir karışım 60 mm x 60 mm x 20 mm boyutlara sahip bir ring içerisinde maksimum kuru birim hacim ağırlık (MKBHA) değerinde sıkıştırılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler direkt kesme deneyinde kırılmış ve lif miktarı ile su içeriğinin zeminin kayma mukavemeti özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2.3. Deney Prosedürü

Direkt kesme deneyinde kırılmak üzere farklı su ve lif içeriklerine sahip, 60 mm x 60 mm x 20 mm boyutlardaki lif-zemin kompozit numuneleri MKBHA değerinde sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan her bir numune 60, 120 ve 240 kPa büyüklüğünde düşey gerilme altında, 1 mm/dk kesme hızında %15 birim boy değişimine kadar kesilmiştir. Bu çalışmada kullanılan direkt kesme deneyi cihazı Şekil 3'te, kesilen numuneler ise Şekil 4'te gösterilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Cam lif ile güçlendirilmiş kil zeminin pik kayma mukavemeti, pik dayanıma karşılık gelen içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri direkt kesme deneyinde araştırılmıştır. Pik kayma mukavemetine karşılık gelen kohezyon ve içsel sürtünme

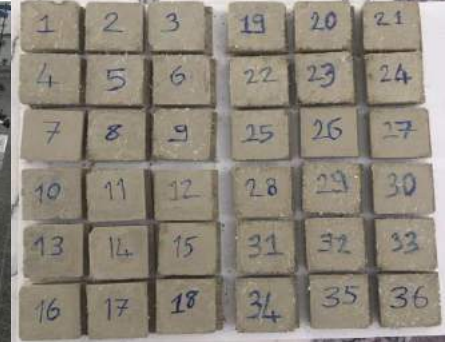
açısı değerlerinin lif içeriğine ve su muhtevasına bağlı değişimi sırasıyla Şekil 5a ve Şekil 5b'de gösterilmiştir. Şekil 5a'ya bakıldığında genel olarak su muhtevasının artması ile kohezyon değerinin azaldığı görülmektedir. %13 su muhtevasında hazırlanan numunelerde kohezyon değeri, lif içeriğinin %1'e kadar artması ile artmakta, %1'den daha büyük lif içeriklerinde ise azalmaktadır. OSİ'ye sahip numunelerde ise en yüksek kohezyon değeri %1,5 lif ile güçlendirilmiş numunelerde meydana gelmektedir. Buna karşılık %17 su muhtevası için lif içeriğinin artması ile kohezyon değeri sürekli artmaktadır. %13 su muhtevası ve %1 lif içeriğinde hazırlanan lif-zemin kompozitinin kohezyon değerinin katkısız numuneye nispeten %10 arttığı, OSİ değerinde %1,5 lif ile güçlendirilmiş numunede bu artışın %5 olduğu gözlenmektedir. Şekil 5b incelendiğinde %1'den daha küçük lif içeriklerinde su muhtevasının artması ile içsel sürtünme açısının azaldığı, %1'den büyük lif içeriklerinde ise en yüksek içsel sürtünme açısının %15 su muhtevasına sahip numunelerde meydana geldiği görülmektedir. %13 su muhtevasına sahip numunelerde içsel sürtünme açısı, lif içeriğinin %1'e kadar artması ile artmakta, %1'den büyük lif içeriklerinde ise azalmaktadır. %15 su muhtevası için içsel sürtünme açısı değeri lif miktarının %1,5'e kadar artması ile artmakta, %1,5'ten daha büyük lif içeriklerinde ise azalmaktadır. Öte taraftan %17 su muhtevasına sahip numunelerde ise lif içeriğinin artması ile içsel sürtünme açısının sürekli arttığı görülmektedir. %13 su muhtevası ve %1 lif içeriğinde hazırlanan lif-zemin kompozitinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinin katkısız numuneye nispeten sırasıyla %10 ile %4 arttığı, OSİ miktarında su ve %1,5 oranında lif ile güçlendirilmiş numunede ise bu artışların sırasıyla %5 ile %22 olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak cam lif-kil karışımının kullanılmasına karar verilen uygulama projelerinde karışıma katılacak su miktarının belirlenmesinde amaca uygun olan su içeriği seçilebilir. Örneğin zemini güçlendirmedeki amaç kohezyonu arttırmak ise kil-lif karışımında OSİ değerinden daha düşük su içeriği kullanılabilir. Buna karşılık amaç içsel sürtünme açısını arttırmak ise lif-kil karışımı OSİ değerinde hazırlanabilir. Şekil 6'da kayma mukavemetinin su muhtevasına, normal gerilmeye ve lif miktarına bağlı değişimini gösteren grafikler verilmiştir. Şekil 6'da verilen grafikler, genel olarak su muhtevasının artması ile kayma mukavemetinin azaldığını göstermektedir. Lif ile güçlendirilmiş zeminlerde, lif-zemin kompoziti yük aldığı esnada zemin içerisinde meydana gelen



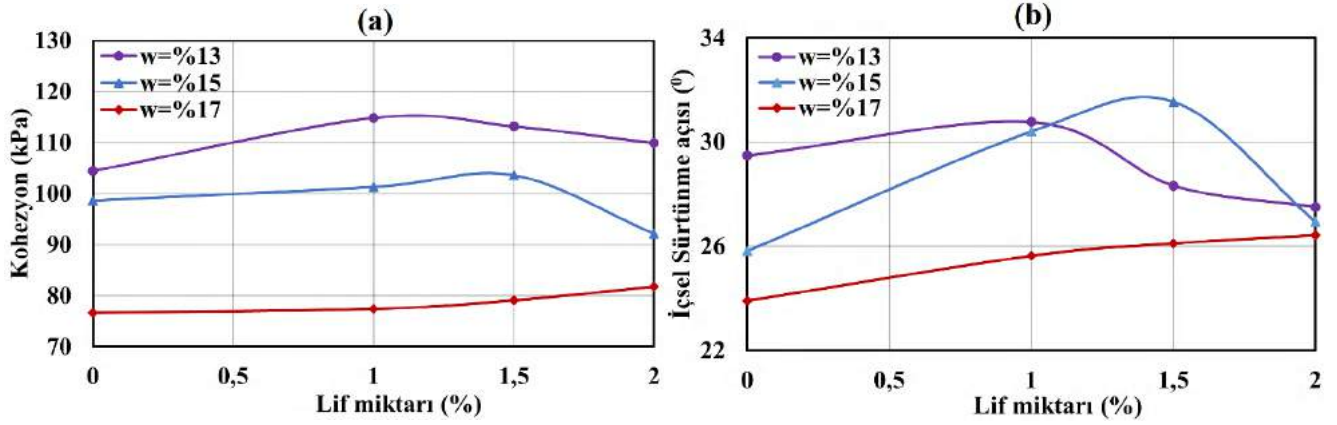
Şekil 2. Cam lif



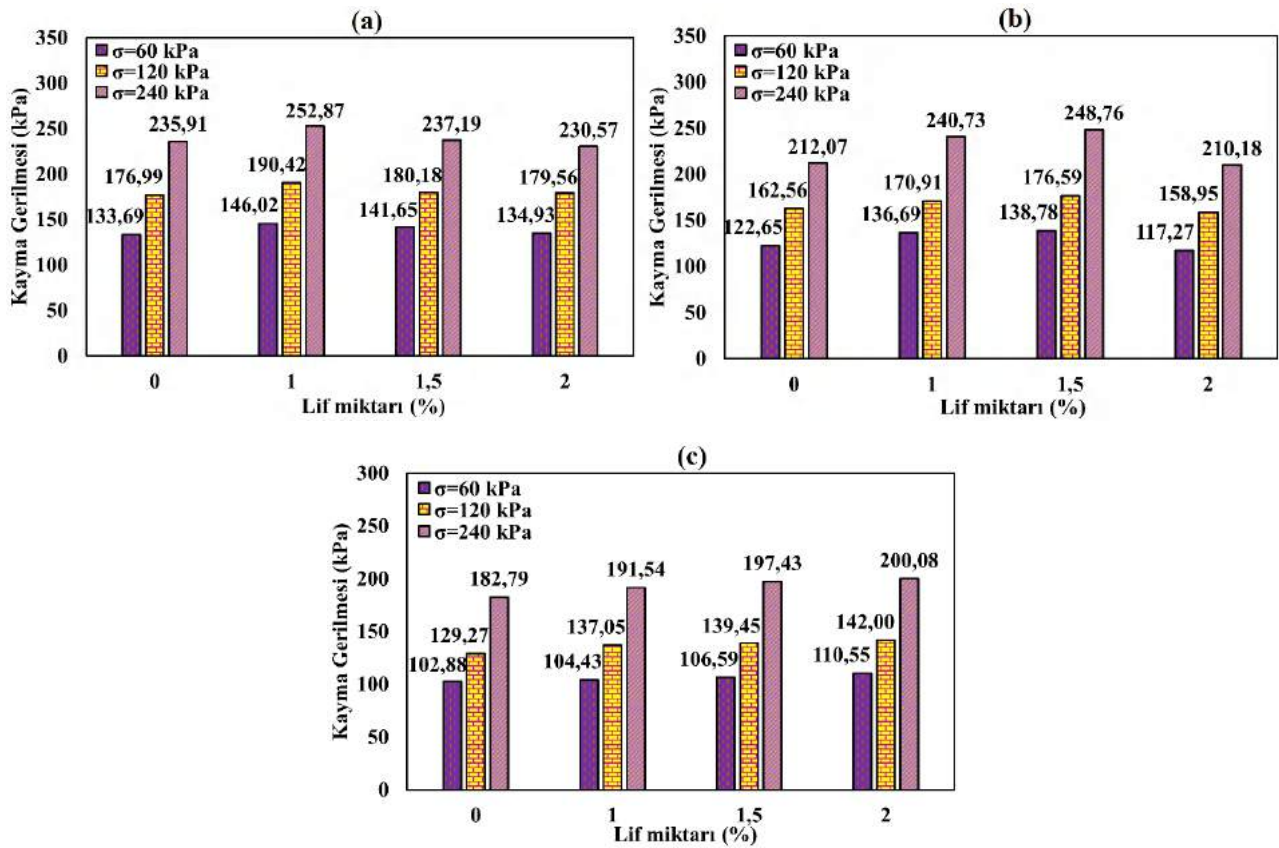
Şekil 3. Kesme kutusu cihazı



Şekil 4. Kesilen numuneler



Şekil 5. Farklı su içerikleri için lif miktarlarına karşılık (a) kohezyonun (b) içsel sürtünme açısının değişimi



Şekil 6. (a) %13, (b) %15, (c) %17 su içeriklerinde hazırlanan numunelerin kayma mukavemeti üzerine lif miktarı ve normal gerilmenin etkisi

kayma gerilmeleri liflerdeki çekme dirençlerini mobilize etmekte ve böylece zeminin dayanımı artmaktadır (Jamshidi vd 2010). Lifler ile kil zemin arasındaki adezyonun fazla olması durumunda güçlendirmenin etkisi artmaktadır. Lif ile güçlendirilmiş kil zeminde yüksek su içeriklerinde zemin daneleri ile lifler arasındaki adezyon azalmakta ve bunun bir sonucu olarak lif-zemin kompozitinin kayma mukavemeti azalmaktadır (Arabani ve Haghsheno 2020). Bu durum Şekil 6'da su içeriğinin artması sonucu kayma mukavemetinde meydana gelen azalışı açıklamaktadır.

Cam lifle güçlendirilmiş kil zeminin kayma mukavemetindeki optimum artışın %13 ve %15 su içeriklerinde sırasıyla %1 ve %1,5 lif kullanılması durumunda elde edildiği sonucuna varılmıştır. Buna karşılık %17 su muhtevasına sahip numunelerde kayma mukavemeti artışı açısından optimum bir lif

içeriği gözlenmemiştir. Ayrıca %13 ve %17 su muhtevasına sahip lif takviyeli kil zeminde kayma mukavemeti artışı üzerine normal gerilmenin önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yine de %13 ve %17 su içeriğine sahip numunelerde kayma mukavemetinde en yüksek artışların sırasıyla 60 kPa ve 120 kPa normal gerilme altında meydana geldiği gözlenmiştir. Buna karşılık OSİ değerinde su içeren numunelerde ise daha yüksek normal gerilme altında kayma mukavemetinde dikkate değer artışlar meydana gelmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada düşük plastisiteli kil zeminin kayma mukavemeti üzerine cam lif ilavesinin, su muhtevasının ve normal gerilmenin etkileri direkt kesme deneyi vasıtasıyla

incelenmiştir. Cam lifle güçlendirilmiş düşük plastisiteli kilin pik kayma mukavemeti, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerini su muhtevası ve lif içeriğinin dikkate değer miktarda etkilediği gözlemlenmiş olup, deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Kil zeminin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerinde en yüksek iyileşmenin meydana geldiği lif içeriği, %13 su muhtevası için %1, %15 su içeriği içinse %1,5 olarak belirlenmiştir. %17 su muhtevasına sahip zeminde lif içeriğinin artması ile kohezyon değerinin sürekli arttığı görülmüştür.

Su muhtevası ve lif içeriğine karşılık kohezyon ve içsel sürtünme açısında meydana gelen değişime bağlı olarak kil zeminde en yüksek kayma mukavemeti değerlerini veren lif içerikleri, %13 ve %15 su muhtevaları için sırasıyla %1 ve %1,5 olarak bulunmuştur.

OSİ-2, OSİ ve OSİ+2 su içeriklerinde hazırlanan lif-kil kompozit numunelerinde kayma mukavemeti artışlarının en fazla olduğu normal gerilme değerlerinin sırasıyla 60, 120 ve 240 kPa olduğu gözlemlenmiştir.

Su içeriğinin artması ile zemin daneleri ile lifler arasında meydana gelen adezyonun azalmasından ötürü genel olarak hem güçlendirilmemiş hem de güçlendirilmiş kil zeminin kayma mukavemetinin azaldığı sonucu elde edilmiştir.

En yüksek içsel sürtünme açısı değerinin OSİ'ne ve %1,5 oranında life sahip kil zeminde, en yüksek kayma mukavemeti ve kohezyon değerlerinin ise %13 su muhtevasına ve %1 lif içeriğine sahip kil zeminde meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

Abdeldjouad, L., Asadi, A., Ball, R. J., Nahazanan, H., & Huat, B. B. (2019). Application of alkali-activated palm oil fuel ash reinforced with glass fibers in soil stabilization. *Soils and Foundations*, 59(5), 1552-1561.

Anagnostopoulos, C. A., Tzetzis, D., & Berketis, K. (2013). Shear strength behaviour of polypropylene fibre reinforced cohesive soils. *Geomechanics and Geoengineering*, 9, 241-251.

Arabani, M., & Haghsheno, H. (2020). The effect of water content on shear and compressive behavior of polymeric fiber-reinforced clay. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1-12.

Asadollahi, F., & Dabiri, R. (2017). Effects of Glass Fiber Reinforced Polymer on Geotechnical Properties of Clayey Soil. *Journal of Structural Engineering and Geo-Techniques*, 7(2), 73-83.

Baruah, H. (2015). Effect of glass fibers on red soil. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(1), 217-223.

Choo, H., Yoon, B., Lee, W., & Lee, C. (2017). Evaluation of compressibility and small strain stiffness characteristics of sand reinforced with discrete synthetic fibers. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(4), 331-338.

Estabragh, A. R., Bordbar, A. T., & Javadi, A. A. (2011). Mechanical behaviour of a clay soil reinforced with nylon fibers. *Geotechnical and Geological Engineering*, 29, 899-908.

Falorca, I. M. C. F. G., & Pinto, M. I. M. (2011). Effect of short, randomly distributed polypropylene microfibrils on shear strength behaviour of soils. *Geosynthetics International*, 18(1), 2-11.

Gao, L., Zhou, Q., Yu, X., Wu, K., & Mahfouz, A. H. (2017). Experimental study on the unconfined compressive strength of carbon fiber reinforced clay soil. *Marine Georesources & Geotechnology*, 35(1), 143-148.

Gray, D. H., & Maher, M. H. (1989). Admixture stabilization of sands with discrete, randomly distributed fibers. *In Proc. of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, August 13-18, Rio de Janeiro, Brazil.

Jamshidi, R., Towhata, I., Ghiassian, H., & Tabarsa, A. R. (2010). Experimental evaluation of dynamic deformation characteristics of sheet pile retaining walls with fiber reinforced backfill. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(6), 438-446.

Liu, C., Lv, Y., Yu, X., & Wu, X. (2020). Effects of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of straw fiber-reinforced soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(4), 581-590.

Maher, H., & Gray, H. (1990). Static response of sand reinforced with randomly distributed fibers. *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 116(11), 1661-1677.

Marandi, M., Bagheripour, H., Rahgozar, R., and Zare, H. (2008). Strength and ductility of randomly distributed palm fibers reinforced silty-sand soils. *American Journal of Applied Sciences*, 5(3), 209-220.

Motiram, P. V., Rohit, C., Tushar, K., Ayushi, C., Bhushan, G., and Deepali, C. (2018). Study of basalt fiber on compaction characteristics of black cotton soil. *International Journal for Research in Engineering Application and Management (IJREAM)*, 850-853.

Murray, J. J., Frost, J. D., & Wang, Y. (2000). Behavior of a sandy silt reinforced with discontinuous recycled fiber inclusions. *Transportation Research Record*, 1714(1), 9-17.

Sadeghi, M. M., & Beigi, F. H. (2014). Dynamic behavior of reinforced clayey sand under cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 42(5), 564-572.

Saha, H. S., & Bhowmik, D. (2018). Effect of glass fiber on shear strength of soil. *Key Engineering Materials*, 775, 603-609.

Soğancı, A. S. (2015). The effect of polypropylene fiber in the stabilization of expansive soils. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 9(8), 994-997.

Sujatha, E. R., Atchaya, P., Darshan, S., & Subhashini, S. (2020). Mechanical properties of glass fibre reinforced soil and its application as subgrade reinforcement. *Road Materials and Pavement Design*, 21, 1-12.

Tran, K. Q., Satomi, T., & Takahashi, H. (2018). Effect of waste cornsilk fiber reinforcement on mechanical properties of soft soils. *Transportation Geotechnics*, 16, 76-84.

Yetimoğlu, T., & Salbaş, O. (2003). A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(2), 103-110.



Bazalt Lifi ile Güçlendirilmiş Killi Zeminin Mühendislik Özellikleri Üzerine Deneysel Araştırma

Ahmetcan Sungur^{1*}, Mehmet Fatih Yazıcı², Sıddıka Nilay Keskin³

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 100/2000 YÖK Doktora Bursiyeri, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6200-7601), ahmetcansungur@gmail.com

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3557-7817), mehmetyazici@sdu.edu.tr

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0367-943X), nilaykeskin@sdu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011881)

ATIF/REFERENCE: Sungur, A., Yazıcı, M.F. & Keskin, S.N. (2021). Bazalt Lifi ile Güçlendirilmiş Killi Zeminin Mühendislik Özellikleri Üzerine Deneysel Araştırma. *European Journal of Science and Technology*, (28), 895-899.

Öz

Son zamanlarda düşük maliyetleri, yeterli dayanımları ve kolay ulaşılabilirlikleri nedeniyle zeminlerin güçlendirilmesinde liflerin kullanılması tekniği, geleneksel zemin güçlendirme yöntemlerine bir alternatif olarak araştırmacıların dikkatini çekmeyi başarmıştır. Bu çalışmada, farklı uzunluk ve miktarlarda bazalt lifi ile güçlendirilmiş kil zeminin kayma mukavemetindeki değişim direkt kesme deneyi ile araştırılmıştır. Bu amaç için, zeminin kuru ağırlığının bir yüzdesi olarak; 9 mm uzunlukta lif için %0, %0,5, %0,75 ve %1,0; 15 mm uzunlukta lif için %0, %0,5, %1,0, %1,5, %2,0 ve 22 mm uzunlukta lif için %0, %0,5, %1,0 ve %1,5 miktarlarında bazalt lif kullanılmıştır. Deneylerin sonucunda, 15 mm uzunluktaki bazalt liflerden zemin içerisine %1,5 miktarında ilave edilmesi ile en yüksek kayma mukavemeti ve kohezyon değerleri elde edilmiştir. En yüksek içsel sürtünme açısı değeri ise 22 mm uzunlukta %0,5 oranında lif ile güçlendirilmiş zeminde gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışmanın amacına uygun olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt lif, Zeminlerin güçlendirilmesi, Lif uzunluğu, Direkt kesme deneyi, Kayma mukavemeti.

Experimental Research on the Engineering Properties of Basalt Fiber Reinforced Clayey Soil

Abstract

In recent times, the method of using reinforcement with randomly distributed fibers of soils has attracted the attention of researchers, as an alternative method instead of traditional soil reinforcement methods, with the advantages of low cost, sufficient strength and easy accessibility. In this study, the change in shear strength of clay soil reinforced with basalt fiber in different lengths and contents was investigated by direct shear test. For this purpose, basalt fiber was used at the contents of 0%, 0.5%, 0.75%, and 1.0% for 9 mm long fiber, 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2% for 15 mm long fiber and 0%, 0.5%, 1.0% and 1.5% for 22 mm long fiber as a percentage of the dry weight of the soil. As a result, the highest shear strength and cohesion values were obtained by adding 15 mm length basalt fiber at the content of 1.5% into clay soil. The highest internal friction angle value was observed in reinforced soil with 22 mm long fiber at the content of 0.5%. The results were evaluated in accordance with the purpose of the study.

Keywords: Basalt fiber, Soil reinforcement, Fiber length, Direct shear test, Shear strength.

* Corresponding Author: ahmetcansungur@gmail.com

1. Giriş

Düşük taşıma gücüne sahip ve/veya yüksek sıkışabilirliğe sahip zeminlerin güçlendirilmesi, şev problemleri ve stabilizasyonu, sıvılaşma potansiyelinin azaltılması gibi geoteknik uygulamalarında, zeminlerin güçlendirilmesi tekniğine sıklıkla başvurulmaktadır. Geçmişten günümüze zeminlerin güçlendirilmesi tekniği ile ilgili farklı yöntemler üzerine literatürde birçok araştırma yapılmıştır. Düşük maliyetleri, yeterli dayanımları ve kolay ulaşılabilirlikleri nedeniyle zeminlerin güçlendirilmesi amacıyla, liflerin kullanılması tekniği son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır. Doğal lif çeşitlerinden biri olan bazalt lifi; yüksek stabilite, çekme dayanımı ve ergime sıcaklığına sahip, çevre dostu bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır (Kale vd. 2020). İnşaat mühendisliği uygulamalarında genellikle beton içerisinde güçlendirme malzemesi olarak kullanılmakta olan bazalt liflerin, zeminlerin güçlendirilmesinde kullanımı üzerine literatürde yapılan çalışmaların kısıtlı kaldığı görülmektedir. Literatürde rastgele dağıtılmış bazalt lifler ile zeminlerin güçlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Gao vd. (2015), optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık koşulları altında hazırladıkları bazalt lif takviyeli kil zeminin serbest basınç mukavemeti üzerine, lif uzunluğu ve miktarının etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak en yüksek dayanım artışını optimum lif içeriğinin %0,25, lif uzunluğunun ise 12 mm olduğunda elde etmişlerdir. Küçükosmanoğlu (2019), kil zeminin şişme davranışı ve Kaliforniya taşıma oranı değeri üzerine farklı uzunluk ve miktarlardaki bazalt lif ilavesinin etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak %0,2 miktarında 6 mm uzunlukta lif ilavesi ile katkısız zemine nispeten şişme miktarının 6,73 kat azaldığını ve Kaliforniya taşıma oranı değerinin de 3,3 kat iyileştiğini gözlemlemiştir. Ocakbaşı (2019), bazalt lifi ile güçlendirilmiş kil zeminin serbest basınç mukavemeti üzerine lif miktarı ve uzunluğunun etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak en yüksek serbest basınç mukavemetinin 24 mm uzunlukta %2 lif içeriğine sahip kompozit numunede meydana geldiğini belirtmiştir. Ndepete ve Sert (2016), düşük plastisiteli siltli bir zeminin kayma dayanımı üzerine bazalt liflerin etkilerini incelemişlerdir. Bazalt lif içeriğinin artması ile siltli zeminin dayanımının arttığını, dayanımdaki maksimum iyileşmeyi temsil eden optimum lif içeriğinin ise %1,5 olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca 24 mm uzunluğunda lif ile güçlendirilmiş siltli zeminin daha yüksek dayanıma sahip olduğunu gözlemlemiştir. George ve Ramya (2017), farklı uzunluk ve miktarda bazalt lifi ilavesi ile kür süresinin yüksek plastisiteli organik yerel bir zeminin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Maksimum dayanım artışını, 10 mm uzunluğunda, %0,05 lif içeriğinde ve 28 günlük kür süresi sonunda elde etmişlerdir.

Bu çalışmada; düşük plastisiteli bir kil zeminin kayma mukavemeti özellikleri üzerine farklı miktarlarda ve farklı uzunluklardaki bazalt lifinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaç için 9 mm uzunlukta bazalt liflerden ağırlıkça %0,5, %0,75, %1,0; 15 mm uzunlukta bazalt liflerden ağırlıkça %0,5, %1,0, %1,5, %2,0 ve 22 mm uzunlukta bazalt liflerden ise ağırlıkça %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında kullanılmıştır. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kil zeminin kayma mukavemeti direkt kesme deneyi ile incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan ince daneli zemin numunesinin üzerinde sınıflandırma ve standart proktor deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler sonucunda zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. İnce daneli zeminin özellikleri

Özellikler	Değer
Likit limit (%)	35
Plastik limit (%)	19
Plastisite indisi (%)	16
Max. kuru yoğunluk (gr/cm ³)	1,75
Optimum su muhtevası (%)	15
Özgül gravite	2,73
No #200 Elek Altı Malzeme (%)	98,8

Kil zeminin stabilizasyonu için çapları 9-23 µm arasında değişen ve 9, 15 ve 22 mm uzunluklara sahip bazalt lifler kullanılmıştır (Şekil 1). Bazalt liflerinin üretici firmadan temin edilen fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Rastgele dağıtılmış ayırık lifler ile zeminlerin güçlendirilmesi yönteminde, lif-zemin karışımlarının hazırlanmasında liflerin zemin içerisinde homojen ve izotropik dağılmasını sağlamak ve liflerin topaklanmasını önlemek için literatürde birçok yöntem kullanılmaktadır. Genellikle etüvde kurutulan zemine lif malzemesi karıştırılmakta, daha sonra bu karışıma belirlenen miktarda su ilave edilmektedir (Gao vd. 2015, Soğancı 2015, Motiram vd. 2018, Tran vd. 2018, Liu vd. 2020). Bu çalışmada lif-zemin karışımlarının hazırlanmasında yukarıdaki yöntem benimsenmiştir. Ayrıca homojen bir lif-zemin karışımının elde edilebilmesi için önemli parametrelerden birisi olan karıştırma yöntemi olarak literatürde mekanik karıştırıcı, mikser, el ile karıştırma yöntemi, tamburlu karıştırıcı gibi yöntemler kullanılmaktadır. Laboratuvar ortamında lif-zemin karışımlarının hazırlanması aşamasında liflerin dağılımının gözlenebilmesine olanak tanıdığı için el ile karıştırma yöntemi çokça tercih edilmektedir (Bouhicha vd. 2005, Najjar vd. 2014, Ateş 2016, Soltani vd. 2018, Taha vd. 2020). Bu çalışmada, etüvde kurutulan kil zemin numunesinden standart proktor deneyinden elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık değerine karşılık gelecek miktarda daha sonra ilgili uzunluk ve miktardaki bazalt lifler rastgele bir şekilde ve yavaş yavaş kuru kil zemine ilave edilerek karıştırılmıştır. Kuru kil-lif karışımına optimum su muhtevası değerinde su ilave edilmiş ve liflerin zemin içerisinde eşit bir şekilde dağılımı sağlanana kadar lif-kil-su karışımı karıştırılmıştır. Güçlendirme elemanı olarak 9 mm uzunlukta bazalt liflerden ağırlıkça %0,5, %0,75, %1,0; 15 mm uzunlukta bazalt liflerden ağırlıkça %0,5, %1,0, %1,5, %2,0 ve 22 mm uzunlukta bazalt liflerden ise ağırlıkça %0,5, %1,0, %1,5 miktarlarında kullanılmıştır. Bu karışımlardan hazırlanan her bir numune 60 mm x 60 mm x 20 mm boyutlara sahip kesme kutusu halkası içerisinde optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta sıkıştırılmış ve direkt kesme deneyine tabi tutulmuştur.

Tablo 2. Bazalt lifin özellikleri

Lif türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Lif Çapı (µm)	Lif Uzunluğu (mm)
Bazalt	2,60-2,80	4,84	89	9-23	9, 15 ve 22

2.3. Deney Prosedürü

Direkt kesme deneyinde kırılmak üzere 60 mm x 60 mm x 20 mm boyutlara sahip olacak şekilde hazırlanan numuneler, 60, 120 ve 240 kPa büyüklüğündeki normal gerilme değerlerinde, 1 mm/dk yatay deplasman hızında kesilmiştir. Her bir numune %15 birim boy değişimine sahip olana kadar yüklenmiştir. Bu çalışmada kullanılan direkt kesme cihazı ve bu cihazda kesilen numunelere ait görseller Şekil 2’de verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Farklı uzunluklarda bazalt lif ile güçlendirilmiş ve lif katkısız düşük plastisiteli kil zeminin pik kayma mukavemeti, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri direkt kesme deneyi yardımıyla incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen grafikler Şekil 3 ve Şekil 4’te sunulmuştur. Şekil 3’e bakıldığında, 15 mm uzunluğa sahip lif kullanılması durumunda en yüksek kayma mukavemeti artışlarının meydana geldiği görülmektedir. 15 mm’den daha uzun lif kullanılması durumunda homojen lif-kil karışımlarının hazırlanması daha zor hale gelmekte ve liflerin topaklanma olasılığı artmaktadır (Cui vd. 2018). Bu durumun, lif uzunluğunun 15 mm’den daha büyük olması durumunda kayma mukavemetinde meydana gelen azalışın nedeni olduğu düşünülmektedir. Ayrıca tüm lif uzunlukları için 240 kPa büyüklüğünde normal gerilme altında daha düşük normal gerilmelere nispeten kayma mukavemetinde daha önemli miktarda artışlar meydana gelmektedir. Tüm lif uzunlukları için genel olarak lif miktarının artması ile güçlendirilmiş zeminin kayma mukavemeti, lif takviyesiz zemine nispeten artmaktadır. Bazalt lif ile güçlendirilmiş kil zeminde en yüksek kayma mukavemeti değerinin, 9 mm, 15 mm ve 22 mm uzunlukta lifler için sırasıyla ağırlıkça %0,75, %1,5 ve %1,0 oranlarında lif ilave edilmesiyle elde edildiği görülmektedir (Şekil 3). Bazalt lif ile güçlendirilmiş düşük plastisiteli kil zemin içerisine 9 mm uzunlukta %0,75 miktarında lif ilave edilmesi ile kayma mukavemetinde meydana gelen en yüksek artışın %12,66 olduğu, 15 mm uzunlukta %1,5 oranında lif ilave edilmesi ile bu artışın %21,91 değerine ulaştığı, 22 mm uzunlukta %1 içeriğinde lif ilave edilmesi ile ise bu artışın %17,36’ya düştüğü sonucu elde edilmiştir. 9 mm uzunlukta lif ile güçlendirilmiş kil zeminde, lif içeriğinin artması ile güçlendirilmemiş zemine kıyasla kohezyon

değerinde küçük azalışlar meydana gelmektedir (Şekil 4a). Buna karşılık lif içeriğinin %0,75’e kadar artması ile içsel sürtünme açısı artmakta, bu değerden daha büyük lif içeriklerinde ise azalmaktadır (Şekil 4b). Tekrardan Şekil 4’e bakıldığında, 15 mm uzunlukta lif kullanılması durumunda lif miktarının %1,5’e kadar artması ile hem kohezyon hem de içsel sürtünme açısı değerinin arttığı, bu değerden daha büyük lif içeriklerinde ise azaldığı görülmektedir. Öte taraftan 22 mm uzunlukta lif ile güçlendirilmiş kil zeminde, %0,5 miktarında lif kullanılması durumunda kohezyon değerinin lif katkısız zemininkine oranla azaldığı, içsel sürtünme açısının ise arttığı gözlenmektedir. %0,5’ten sonra lif miktarının artması ile ise kohezyon değeri artmakta, içsel sürtünme açısı ise azalmaktadır. En yüksek içsel sürtünme açısı değeri 22 mm uzunlukta %0,5 miktarında lif ile güçlendirilmiş kil zeminde, en yüksek kohezyon değeri ise kil zemin içerisinde 15 mm uzunluğa sahip liflerden %1,5 oranında kullanılması durumunda elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada düşük plastisiteli kil zeminin kayma mukavemetine farklı uzunluk ve miktarlarda bazalt lifi ilavesinin etkileri direkt kesme deneyi cihazı ile araştırılmıştır. Sonuç olarak hem lif uzunluğunun hem de lif miktarının kayma mukavemeti özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Zemin içerisinde 22 mm uzunlukta %0,5 içeriğinde lif kullanılması durumunda en büyük içsel sürtünme açısı değeri elde edilmiştir.

En yüksek kohezyon değeri, 15 mm uzunlukta %1,5 miktarında bazalt lif ile güçlendirilmiş kil zeminde gözlenmiştir.

Kayma mukavemeti bakımından en yüksek artışların 9 mm uzunluğa sahip lif için %0,75; 15 mm uzunluğunda lif için %1,5; 22 mm uzunluğunda lif için ise %1,0 oranlarında meydana geldiği belirlenmiştir. 15 mm uzunlukta bazalt liflerinden %1,5 miktarında kullanılması durumunda en yüksek kayma mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

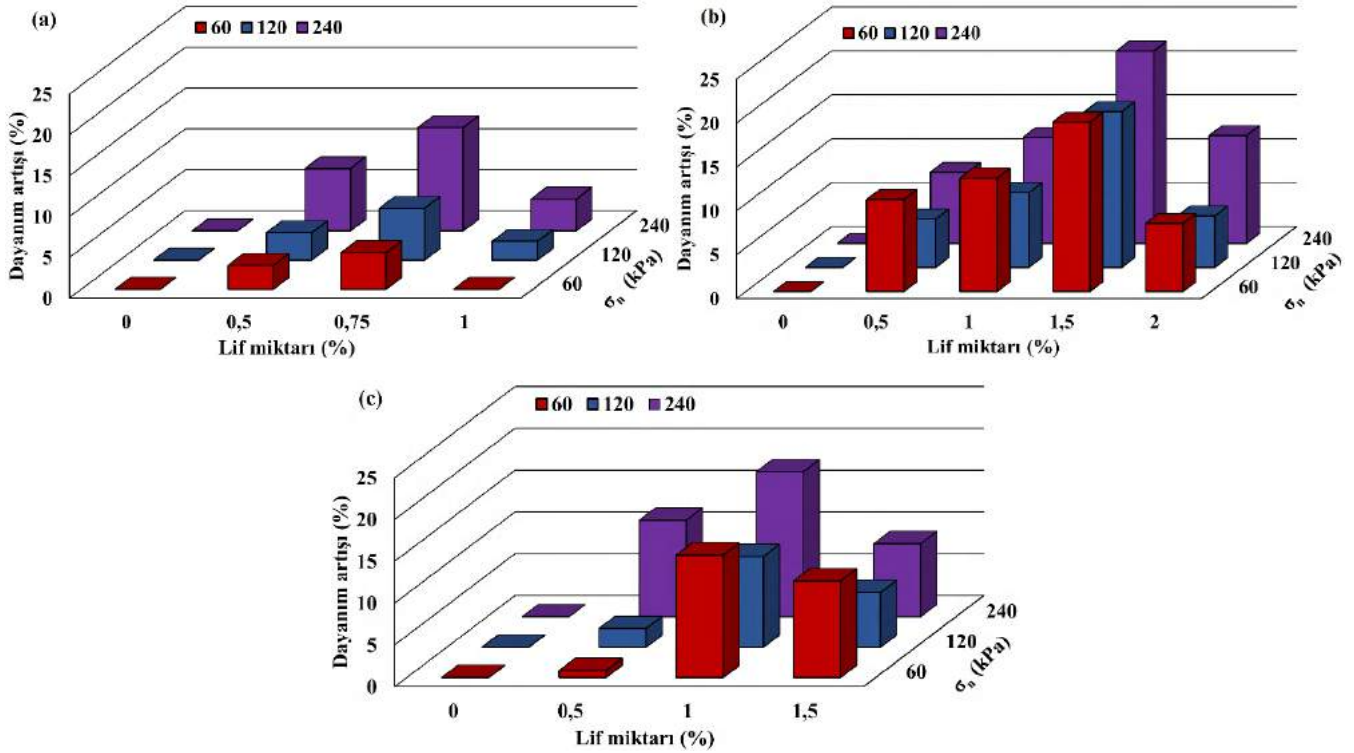
15 mm uzunluğa kadar lif uzunluğunun artması ile kayma mukavemetinin arttığı, bu değerden daha büyük lif uzunluklarının



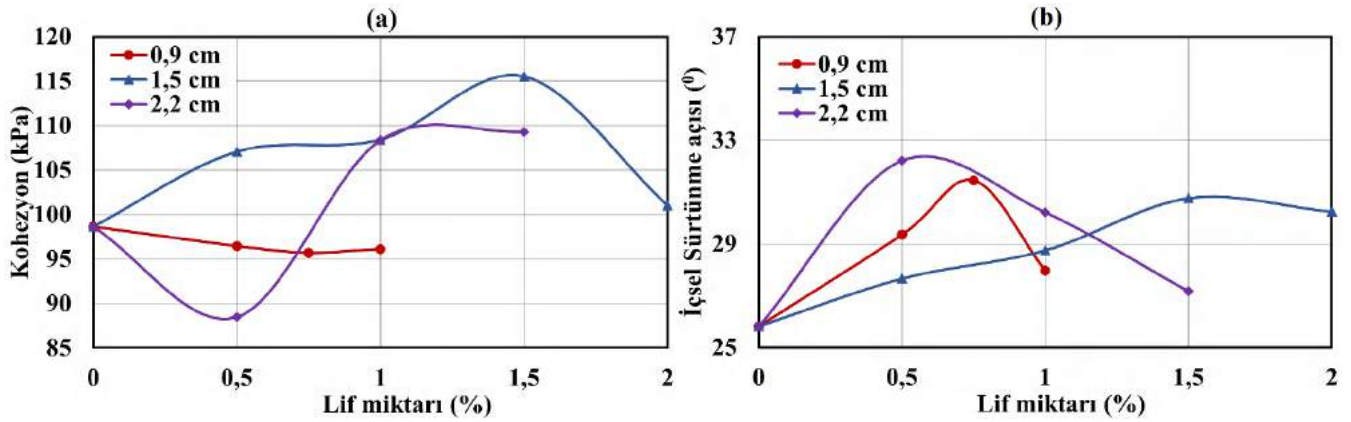
Şekil 1. Bazalt lifi



Şekil 2. Direkt kesme cihazı ve kesilen numuneler



Şekil 3. (a) 9 mm, (b) 15 mm, (c) 22 mm uzunlukta bazalt lifi ile güçlendirilmiş kil zeminin kayma mukavemeti artışına normal gerilme (σ_n) ve lif miktarının etkisi



Şekil 4. Farklı uzunluklara sahip lifle güçlendirilmiş kil zeminin (a) kohezyon ve (b) içsel sürtünme açısının değişimi

kullanılması sonucunda meydana gelen lif topraklanmaları nedeniyle kayma mukavemetinin azaldığı gözlenmiştir.

Tüm numuneler için kayma mukavemetindeki en yüksek artışlar 240 kPa büyüklüğündeki normal gerilme altında gerçekleşmiştir.

Kaynaklar

- Ateş, A. (2016). Mechanical properties of sandy soils reinforced with cement and randomly distributed glass fibers (GRC). *Composites Part B: Engineering*, 96, 295-304.
- Bouhicha, M., Aouissi, F., & Kenai, S. (2005). Performance of composite soil reinforced with barley straw. *Cement and concrete composites*, 27(5), 617-621.
- Cui, H., Jin, Z., Bao, X., Tang, W., & Dong, B. (2018). Effect of carbon fiber and nanosilica on shear properties of silty soil *e-ISSN: 2148-2683*

and the mechanisms. *Construction and Building Materials*, 189, 286-295.

- Gao, L., Hu, G., Xu, N., Fu, J., Xiang, C., & Yang, C. (2015). Experimental study on unconfined compressive strength of basalt fiber reinforced clay soil. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 1-8.
- George, G. P., & Ramya, K. (2017). A Study on the Effect of Basalt Fiber in Organic Soil. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 4, 13-17.
- Kale, R. Y., Neha, D., Sakshi, M., Gaurav, A., Pranit, J., Vaishnavi, R., & Chetan, R. (2020). Soil stabilization by using basalt fibers. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 6(3), 1931-1935.
- Küçükosmanoğlu, M. (2019). *Bazalt Fiberin zemin iyileştirilmesinde kullanımı* (Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi).

- Liu, C., Lv, Y., Yu, X., & Wu, X. (2020). Effects of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of straw fiber-reinforced soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 48(4), 581-590.
- Motiram, P. V., Rohit, C., Tushar, K., Ayushi, C., Bhushan, G., & Deepali, C. (2018). Study of basalt fiber on compaction characteristics of black cotton soil. *International Journal for Research in Engineering Application Management (IJREAM)*, 850-853.
- Najjar, S. S., Sadek, S., & Taha, H. (2014). Use of hemp fibers in sustainable compacted clay systems. In *Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability* (pp. 1415-1424).
- Ndepete, C. P., & Sert, S. (2016). Use of basalt fibers for soil improvement. *Acta Physica Polonica A*, 130(1), 355-356.
- Ocakbaşı, P. (2019). *Bazalt fiber katkısının killi zeminlerin drenajsız kayma direncine etkisi* (Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi).
- Soğancı, A. S. (2015). The effect of polypropylene fiber in the stabilization of expansive soils. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 9(8), 994-997.
- Soltani, A., Deng, A., & Taheri, A. (2018). Swell-compression characteristics of a fiber-reinforced expansive soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(2), 183-189.
- Taha, M. M., Feng, C. P., & Ahmed, S. H. (2020). Influence of polypropylene fibre (PF) reinforcement on mechanical properties of clay soil. *Advances in Polymer Technology*, 2020.
- Tran, K. Q., Satomi, T., & Takahashi, H. (2018). Effect of waste cornsilk fiber reinforcement on mechanical properties of soft soils. *Transportation Geotechnics*, 16, 76-84.



Dairesel Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Metodolojisi

Esra Çakır¹, Mehmet Ali Taş^{2*}

¹Galatasaray Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4134-7679), ecakir@gsu.edu.tr

^{2*}Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3333-7972), mehmetali.tas@tau.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011888)

ATIF/REFERENCE: Çakır, E. & Taş, M. A. (2021). Dairesel Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Metodolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 900-905.

Öz

Sağlık turizmi günümüzün hızla büyüyen ekonomik alanlarından biridir. Sağlık turizminin elde edilecek gelirleri arttırmak için tanıtım çalışmaları yürütülmelidir. Bu çalışmaların etkili bir şekilde yapılması için en iyi merkezin seçilmesi gereklidir. En iyi sağlık turizmi merkezi seçiminde çok kriterli karar verme yaklaşımlarından faydalanılabilir. Bu çalışmada, Türkiye'deki dört alternatif sağlık turizmi merkezinin değerlendirilmesi için bir bulanık çok kriterli karar verme yöntemi önerilmektedir. Alternatifler, uzmanlar tarafından sezgisel bulanık sayılarla değerlendirilerek yeni bir dairesel sezgisel bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı geliştirilmiştir. Mevcut literatüre ek olarak, bu çalışma yeni durulaştırma fonksiyonları önererek dairesel sezgisel bulanık kümelere katkıda bulunmaktadır. Uygulamanın, gelecekteki dairesel sezgisel bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanmasına rehberlik etmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Dairesel Sezgisel Bulanık Küme, Çok Kriterli Karar Verme, Sağlık Turizmi.

Circular Intuitionistic Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methodology

Abstract

Health tourism is one of today's rapidly growing economic areas. Promotional activities must be carried out in order to increase the income to be obtained from health tourism. It is necessary to select the best center for these studies to be prepared effectively. Multi-criteria decision-making approaches can be considered in use of the selection of the best health tourism center. This study proposes a fuzzy multi criteria decision making methodology in evaluation of four alternative health tourism centers in Turkey. A new circular intuitionistic fuzzy multi-criteria decision-making approach was developed by evaluating the alternatives with intuitionistic fuzzy numbers by experts. In addition to the existing literature, this study contributes to circular intuitionistic fuzzy sets by proposing new defuzzification functions. The study aims to guide future circular intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making approaches.

Keywords: Fuzzy Logic, Circular Intuitionistic Fuzzy Sets, Multi-Criteria Decision Making, Health Tourism.

* Corresponding Author: mehmetali.tas@tau.edu.tr

1. Giriş

Sağlık için seyahat etmek bilinen en eski turizm nedenlerinden biridir (Tureac & Turtureanu, 2010). İlk tanımlamalardan birini yapan Uluslararası Resmi Seyahat Örgütleri Birliği'ne göre sağlık turizmi "kaplıca alanları ve eşsiz iklim alanları başta olmak üzere doğal kaynaklara sahip kırsal alanlarda sağlık tesislerinin sağlanması" olarak ifade edilir (Lee & Li, 2019). İlk zamanlarda, sağlık turizmi ile tıbbi tedavi ve şifa için seyahat etmek gibi sınırlı bir anlam işaret edilmiştir (Yang vd., 2014). Zamanla bu anlam genişletilerek daha kapsayıcı bir hal almıştır. Güncel bir örnek olarak ise, sağlık turizmi için "...birincil motivasyonu bireylerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kapasitelerini artıran ve çevrelerinde ve toplumda birey olarak daha iyi işlev gören tıbbi ve sağlıklı yaşam temelli faaliyetler yoluyla fiziksel, zihinsel ve/veya ruhsal sağlığa katkı sağlayan turizm" tanımlaması verilebilir (UNWTO, 2018). Sağlık (health) turizminin yerine sıklıkla medikal (medical) turizm ya da hastane (hospital) turizmi gibi kavramlar kullanılmaktadır (Kuşen, 2011; Amouzagar vd., 2016). Aslında, sağlık turizmi diğer tüm tanımlamaları da kapsayan bir konsept olarak değerlendirilebilir (Carrera & Bridges, 2006; Izadi vd., 2012). Sağlık turizmi medikal turizm, engelli turizmi, yaşlı turizmi ve termal/spa turizmi gibi alt türlere ayırmak mümkündür (Kantar & Işık, 2014).

Turizm, yarattığı ekonomi ve yeni istihdam fırsatları ile dünyanın en büyük endüstrilerinden biri haline gelmiştir (Sariisik vd., 2011). 2018 yılındaki istatistiklere göre Türkiye, yaklaşık 46 milyon ile tüm dünyada en çok turist geldiği on ülke içinde altıncı sırada yer almaktadır (UNWTO, 2019). 2003 ile 2020 arasındaki dönemde en yüksek turizm gelirinin elde edildiği 2019 yılında Türkiye'ye 34,520 milyar dolar girişi olmuştur. Bu turizm gelirinin aynı yıldaki gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) içindeki payı %4,6 olarak gerçekleşmiştir (TÜRSAB, 2021). Ekonomik kalkınma için sağlık turizmi gelirlerini arttırmak yardımcı bir etken olabilir sunar (Akinboade & Braimoh, 2010). Bu amaçla Türkiye Kültür ve Turizm Bakanlığı, Türkiye'nin dünya sağlık turizmi pazarındaki payını arttırmak için kısa, orta ve uzun vadeli stratejiler belirlemiştir (T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2021). Stratejiler oluşturulurken sağlık turizmi merkezlerini değerlendirmek gerekir. Sağlık turizmi merkezlerinin değerlendirilmesinde çok sayıda kriter göz önünde bulundurulmalıdır (Çakır & Ulukan, 2020). Bu nedenle bu problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılabilir (Ghasemi vd., 2021). Literatürde daha önce Hung vd. (2014) medikal turizm servislerinin sıralanmasında DANP ve VIKOR yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Roy vd. (2018), Hindistan'daki şehirleri medikal turizm yönünden sıralamada R-AHP (rough AHP) ve MABAC kullanmıştır. Pan vd. (2019) ise Çin'deki sağlık turizmi bölgelerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemi olarak ANP'den faydalanmıştır. Ghasemi vd. (2021) sürdürülebilir sağlık turizmi destinasyonlarını incelemede bulanık SWARA ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmıştır. Görüldüğü gibi, çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanmasında uzman görüşlerini yansıtabilmek için sıklıkla bulanık mantık ve bulanık küme teorisinden faydalanılmaktadır.

Bulanık küme teorisi, belirsizliği ifade etmek için Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya konmuştur (Zadeh, 1965). Yıllar içinde bu teorenin temel alındığı nötrozofik bulanık kümeler (Smarandache, 1998), tereddütlü bulanık kümeler (Torra, 2010), Pisagor bulanık kümeler (Yager, 2013) ve küresel bulanık sayılar (Kutlu Gündoğdu & Kahraman, 2019) gibi çok sayıda bulanık

küme uzantısı önerilmiştir. Bunlardan biri de literatürde yaygın olarak kullanılan ve Atanassov (1986) tarafından tanımlanan sezgisel bulanık kümelerdir (SBK). Devamında yine Atanassov, bu konsepti geliştirerek 2020'de dairesel sezgisel bulanık kümeler (D-SBK) olarak adlandırılan yeni bir SBK uzantısı önermiştir (Atanassov, 2020). Bu yeni kümenin geliştirildiği SBK'den merkezi üye olma ve üye olmama derecelerinden oluşan bir yarıçap notasyonu içermesi ile farklılaşır (Kahraman & Alkan, 2021).

Bu çalışmada, Türkiye'deki sağlık turizmi merkezlerinin değerlendirilmesi ve en iyi alternatifin belirlenmesi yer almaktadır. Böylece sağlık turizmindeki değerlendirme problemlerinin çözümüne katkı sunulması amaçlanmaktadır. Çalışmanın bir diğer önemli katkısı, dairesel SBK için durulaştırma fonksiyonlarının tanıtılmasıdır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde dairesel sezgisel bulanık kümelerin kullanımının yaygınlaştırılması istenmektedir. Bu çalışmanın bahsi geçen alanlarda literatürdeki boşlukları doldurduğu ve literatüre katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2, yeni tanımlanmış durulaştırma fonksiyonları ile dairesel sezgisel bulanık kümeleri (D-SBK) tanıtmaktadır. Bölüm 3'te, dairesel sezgisel bulanık çok kriterli karar verme (D-SB ÇKKV) metodolojisinin uygulama adımları verilmiştir. Bölüm 4'te sağlık turizmi merkezi seçiminde önerilen yaklaşım uygulanmıştır. Son bölümde ise vaka çalışmasının sonuçları ve gelecek çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. Dairesel Sezgisel Bulanık Küme

Bu bölümde dairesel sezgisel bulanık kümenin (D-SBK) ön bilgileri ve tanımları verilmektedir.

Tanım 1: (Atanassov, 1986) $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ sıradan sabitlenmiş bir küme olsun, X 'te bir SB sayı olan A şu şekilde verilir:

$$A = \{ \langle x, u_A(x), v_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

öyle ki " $u_A: X \rightarrow [0,1]$ " ve " $v_A: X \rightarrow [0,1]$ "; $0 \leq u_A(x) + v_A(x) \leq 1, \forall x \in X$ koşulunu sağlar. Bu sayılar, A kümesindeki x elemanının üye olma derecesini " $u_A(x)$ " ve üye olmama derecesini " $v_A(x)$ " göstermektedir.

x, X 'te bir eleman olmak üzere, " $\langle u_A(x), v_A(x) \rangle$ " çifti sezgisel bulanık sayı (SBS) olarak adlandırılır (Chen & Tan, 1994). Daha kolay bir gösterimle, $u_{\tilde{a}} \in [0,1], v_{\tilde{a}} \in [0,1]$ ve $0 \leq u_{\tilde{a}} + v_{\tilde{a}} \leq 1$ koşulları ile $\tilde{a} = \langle u_{\tilde{a}}, v_{\tilde{a}} \rangle$ şeklinde de ifade edilebilir. Belirsizlik derecesi $\pi_{\tilde{a}}, \pi_{\tilde{a}} \in [0,1]$ ve $\pi_{\tilde{a}} = 1 - u_{\tilde{a}} - v_{\tilde{a}}$ koşullarını sağlar.

Tanım 2: $\tilde{a} = (u_{\tilde{a}}, v_{\tilde{a}})$ bir SB sayı olsun. Bu sayı üzerine tanımlanan puan fonksiyonu (durulaştırma fonksiyonu) S ve doğruluk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır (Atanassov, 2020):

$$S(\tilde{a}) = u_{\tilde{a}} - v_{\tilde{a}} \quad \text{için } S(\tilde{a}) \in [-1,1] \quad (2)$$

$$H(\tilde{a}) = u_{\tilde{a}} + v_{\tilde{a}} \quad \text{için } H(\tilde{a}) \in [0,1] \quad (3)$$

Tanım 3: $\tilde{a}_i = (u_{\tilde{a}_i}, v_{\tilde{a}_i})$ ($i=1,2,\dots,n$) bir BS sayı olsun, böylece bu değerlerin birleştirilmiş hali, sezgisel bulanık ağırlıklı ortalama (SBAO) operatörü kullanılarak elde edildiğinde, yine bir SB sayı elde edilir (Xu, 2007; Yu & Xu, 2013):

$$SBAO(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) = \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - u_{\tilde{a}_j})^{w_j}, \prod_{j=1}^n v_{\tilde{a}_j}^{w_j} \right) \quad (4)$$

burada $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$; $w_j \in [0,1]$ ve $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ koşullarını sağlayarak $\tilde{a}_i (i=1,2,\dots,n)$ değerlerinin ağırlık vektörünü ifade eder.

Dairesel sezgisel bulanık küme (D-SBK), 2020 yılında Atanassov (2020) tarafından literatüre tanıtılmıştır. Bu yeni bulanık küme, SBK'nin uzantısıdır. Üye olma ve üye olmama derecelerinden oluşan bir sayı çemberi içermesiyle SBK'den farklıdır (Kahraman & Alkan, 2021).

Tanım 4: E sabit bir evren olsun ve E 'de bulunan bir D-SB sayı C_r , x ile gösterilir ki; $C_r = \{ \langle x: u_C(x), v_C(x); r \rangle, x \in E \}$ bir dairese sezgisel bulanık küme (D-SBK) olan bir nesnenin şeklidir. Burada " $u, v: E \rightarrow [0,1]$ ", aşağıdaki koşullar altında sırası ile eleman $x \in E$ 'in üyelik fonksiyonunu ve üyelik-olmama fonksiyonunu D-SBK kümesine tanımlar:

$$0 \leq u_C(x) + v_C(x) \leq 1 \quad \text{ve} \quad r \in [0, \sqrt{2}] \quad (5)$$

Denklem 5'teki r , her bir $x \in E$ elemanının etrafındaki dairenin yarıçapıdır (Kahraman & Alkan, 2021). Belirsizlik fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanır: $\pi_C(x) = 1 - u_C(x) - v_C(x)$. Böylece, $r = 0$ iken, bir D-SB sayı standard SB sayıya indirgenir.

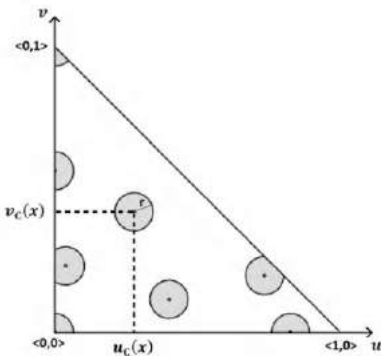
Tanım 5: $\{ \langle m_{i,1}, n_{i,1} \rangle, \langle m_{i,2}, n_{i,2} \rangle, \dots \}$ SB çiftlerinden oluşan bir küme olsun. D-SB sayı olan C_i 'nin hesaplanmasında i (SB küme sayısı) ve k_i (her bir kümesindeki SB çiftlerinin sayısı) bilgilerinden yararlanır. Setin aritmetik ortalaması aşağıdaki gibidir:

$$C_i = \langle u_C(C_i), v_C(C_i) \rangle = \langle \frac{\sum_{j=1}^{k_i} m_{i,j}}{k_i}, \frac{\sum_{j=1}^{k_i} n_{i,j}}{k_i} \rangle \quad (6)$$

C_i 'nin r_i yarıçapı, Öklid mesafelerinin maksimumu ile aşağıdaki gibi elde edilir:

$$r_i = \max_{1 \leq j \leq k_i} \sqrt{(u_C(C_i) - m_{i,j})^2 + (v_C(C_i) - n_{i,j})^2} \quad (7)$$

Tanım 6: $L^* = \{ \langle a, b \rangle | a, b \in [0,1] \& a + b \leq 1 \}$ olsun. Böylece, C_r , " $O_r(u_C(x), v_C(x)) = \{ \langle a, b \rangle | a, b \in [0,1], \sqrt{(u_C(x) - a)^2 + (v_C(x) - b)^2} \leq r, a + b \leq 1 \}$ " koşullarını sağlayan ve daireyi temsil eden bir fonksiyon $C_r^* = \{ \langle x: O_r(u_C(x), v_C(x)) \rangle, x \in E \}$ formunda tekrar yazılabilir. D-SBK'ler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Dairesel sezgisel bulanık sayıların geometrik gösterimi

Tanım 7: Burada, D-SBK'leri durulaştırmak için literatürde yeni olan D-BKS puan ve doğruluk fonksiyonları tanımlanmıştır. $c = (u_c, v_c; r)$ bir D-SB sayı olsun, karar vericinin (veya e -ISSN: 2148-2683

yöneticinin) öncelik bilgisi $\lambda \in [0,1]$ ile birlikte c 'nin puan fonksiyonu S_{D-SBK} ve doğruluk fonksiyonu H_{D-SBK} aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S_{D-SBK}(c) = \frac{u_c - v_c + \sqrt{2r(2\lambda - 1)}}{3} \quad \text{için} \quad S_{D-SBK}(c) \in [-1,1] \quad (8)$$

$$H_{D-SBK}(c) = u_c + v_c \quad \text{için} \quad H_{D-SBK}(c) \in [0,1] \quad (9)$$

λ karar vericinin modele bakış açısını yansıtır. λ sıfıra eşitse tam karamsar bakış açısını, λ bire eşitse tam iyimser bakış açısını gösterir. Genel kabulde $\lambda \in [0,0.5)$ karamsar bir bakış açısına, $\lambda \in (0.5,1]$ ise iyimser bir bakış açısına işaret eder. $\lambda = 0.5$ ise karar vericinin kayıtsız tavrını yansıtır.

Tanım 8: $c_1 = (u_{c_1}, v_{c_1}; r)$ ve $c_2 = (u_{c_2}, v_{c_2}; r)$ iki D-SB sayı olsun. Böylece, sıralama kuralı şu şekilde tanımlanır:

- Eğer $S_c(c_1) > S_c(c_2)$ ise, o zaman $c_1 > c_2$.
- Eğer $S_c(c_1) = S_c(c_2)$ ise, o zaman
 - Eğer $H_c(c_1) > H_c(c_2)$ ise, o zaman $c_1 > c_2$.
 - Eğer $H_c(c_1) = H_c(c_2)$ ise, o zaman $c_1 = c_2$.

3. Metodoloji

Bu bölüm, D-SBK üzerinde yeni durulaştırma (puan ve doğruluk) fonksiyonları önererek yeni dairese sezgisel bulanık çok kriterli karar verme (D-SB ÇKKV) yöntemini tanıtmaktadır (Çakır vd., 2021). Metodoloji, ölçütlere ve karar vericilerin incelemelerine göre alternatiflerin sıra sırasını belirlemeyi amaçlamaktadır. Önerilen D-SBK çok kriterli karar verme metodolojisinin adımları aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1: İlk olarak problemin tanımlanması gerekir. " $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ " alternatifler kümesi, " $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ " ölçütler kümesi ve " $D = \{D_1, D_2, \dots, D_k\}$ " karar vericiler kümesi olsun. " $W_c = \{W_{c_1}, W_{c_2}, \dots, W_{c_n}\}$ " kriterlerin ağırlık vektörüdür ve $W_{c_i} \geq 0$ ile $\sum W_{c_i} = 1$ koşullarını sağlar. Bu ağırlık vektörleri, karar vericiler tarafından belirlenir.

Adım 2: Karar vericilerden sezgisel bulanık karar matrisleri toplanır.

Adım 3: Denklem 4 ile SBAO operatörü kullanarak toplu SB karar matrisi elde edilir.

Adım 4: Kriter ağırlıklarına göre alternatiflerin toplu kararı olan \tilde{K} matrisi, SBAO operatörünü kullanılarak Denklem 4 ile hesaplanır.

Adım 5: Birleştirilmiş SB karar matrisinden Denklem 6 ve 7 ile her bir toplu karar \tilde{K} matrisi için maksimum yarıçap uzunlukları hesaplanır ve toplu kararı matrisi \tilde{K} yarıçap (D-SBK) ile revize edilir.

Adım 6: Vaka ile ilgili λ değeri karamsar veya iyimser bir bakış açısıyla belirlenir.

Adım 7: Denklem 8 ile puan değerleri hesaplanır (durulaştırılır) ve alternatifler sıralanır.

Adım 8: Vaka için tam iyimser ($\lambda=1$) ve tam kötümser ($\lambda=0$) senaryosu değerlendirilir. Her $\lambda \in [0,1]$ değeri için problem çözümlenerek duyarlılık analizi gerçekleştirilir.

4. Vaka Çalışması

Sağlık turizmi, günümüzün uluslararası seyahat ve turizm endüstrisinde önemli bir konu haline gelmiştir (Han vd., 2018). Türkiye'ye sağlık turizmi için gelen kişi sayısı 2015 yılında 360.180 iken bu sayı 2019 yılında 662.087 kişiye yükselmiştir (USHAŞ, 2021). Yine de, dünya pazarında sağlık turizmindeki payı arttırmak gereklidir. Bu amaçla, Türkiye'nin sağlık turizmini tanıtmaya stratejisinde ön planda yer alacak merkezi bulmak istenmektedir. Bu amaçla, iki farklı coğrafi bölgede yer alan dört sağlık turizmi merkezi belirlenmiştir. Alternatifler A1, A2, A3 ve A4 olarak adlandırılmıştır. Bunların değerlendirilmesiyle en iyi alternatif sağlık turizm destinasyonu seçilecektir. Elde edilecek sıralama ile en iyi destinasyonun merkezde yer aldığı bir pazarlama stratejisi hazırlanacaktır.

Değerlendirme yöntemi olarak önerilen dairesel sezgisel bulanık sayılar ile çok kriterli karar verme (D-SB ÇKKV) metodolojisi ele alınmıştır. Çözüm için metodolojinin adımları sırasıyla takip edilir:

Adım 1: Değerlendirme kriterleri belirlenir. Bunun için, turizm sektörünün içerisinde yer alan üç karar verici uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Bu karar vericiler KV_1, KV_2 ve KV_3 olarak adlandırılmıştır. Kriterlerin adları ve kabul edilen ağırlıkları Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Değerlendirme kriterleri

Kriter kodu	Kriter adı	Ağırlık
C_1	Ekipman kalitesi	0.24
C_2	İnsan kaynakları	0.26
C_3	İklim koşulları	0.29
C_4	Ulaşım imkanları	0.21

Adım 2: Eşit ağırlıklı karar vericiler (KV), alternatif merkezleri SB ayılları kullanarak ölçütlere göre değerlendirir.

$$KV1 = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.6, 0.2 \rangle \\ \langle 0.4, 0.3 \rangle \\ \langle 0.5, 0.1 \rangle \\ \langle 0.3, 0.4 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.5, 0.1 \rangle \\ \langle 0.5, 0.4 \rangle \\ \langle 0.2, 0.4 \rangle \\ \langle 0.6, 0.2 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.7, 0.2 \rangle \\ \langle 0.3, 0.5 \rangle \\ \langle 0.2, 0.4 \rangle \\ \langle 0.3, 0.5 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.8, 0.1 \rangle \\ \langle 0.6, 0.1 \rangle \\ \langle 0.5, 0.2 \rangle \\ \langle 0.4, 0.3 \rangle \end{matrix}$$

$$KV2 = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.5, 0.3 \rangle \\ \langle 0.5, 0.2 \rangle \\ \langle 0.6, 0.2 \rangle \\ \langle 0.4, 0.3 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.4, 0.5 \rangle \\ \langle 0.3, 0.3 \rangle \\ \langle 0.7, 0.1 \rangle \\ \langle 0.2, 0.4 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.6, 0.2 \rangle \\ \langle 0.4, 0.5 \rangle \\ \langle 0.2, 0.6 \rangle \\ \langle 0.1, 0.5 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.7, 0.1 \rangle \\ \langle 0.6, 0.3 \rangle \\ \langle 0.6, 0.3 \rangle \\ \langle 0.6, 0.3 \rangle \end{matrix}$$

$$KV3 = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.3, 0.5 \rangle \\ \langle 0.4, 0.2 \rangle \\ \langle 0.3, 0.6 \rangle \\ \langle 0.5, 0.4 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.6, 0.3 \rangle \\ \langle 0.5, 0.4 \rangle \\ \langle 0.5, 0.4 \rangle \\ \langle 0.6, 0.1 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.3, 0.6 \rangle \\ \langle 0.3, 0.6 \rangle \\ \langle 0.6, 0.2 \rangle \\ \langle 0.2, 0.3 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.4, 0.5 \rangle \\ \langle 0.4, 0.5 \rangle \\ \langle 0.2, 0.4 \rangle \\ \langle 0.3, 0.5 \rangle \end{matrix}$$

Adım 3: SBAO operatörü tarafından üç sezgisel bulanık karar matrisinin birleştirilmiş SB karar matrisi aşağıdaki gibidir:

$$\text{Birleştirilmiş KV} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.552, 0.311 \rangle \\ \langle 0.569, 0.229 \rangle \\ \langle 0.552, 0.229 \rangle \\ \langle 0.609, 0.363 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.507, 0.247 \rangle \\ \langle 0.578, 0.363 \rangle \\ \langle 0.588, 0.252 \rangle \\ \langle 0.584, 0.200 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.499, 0.288 \rangle \\ \langle 0.670, 0.531 \rangle \\ \langle 0.712, 0.363 \rangle \\ \langle 0.818, 0.422 \rangle \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.393, 0.171 \rangle \\ \langle 0.476, 0.247 \rangle \\ \langle 0.609, 0.288 \rangle \\ \langle 0.584, 0.356 \rangle \end{matrix}$$

Adım 4: Alternatiflerin birleştirilmiş kararları, Adım 1'de belirtilen ölçüt ağırlıklarına göre SBAO operatörü tarafından elde edilir.

$$\bar{K} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.5688, 0.2715 \rangle \\ \langle 0.5663, 0.2627 \rangle \\ \langle 0.6904, 0.3915 \rangle \\ \langle 0.5247, 0.2553 \rangle \end{matrix}$$

Adım 5: Her bir birleştirilmiş karar için, maksimum yarıçap uzunlukları, Adım 3'teki birleştirilmiş sezgisel bulanık karar matrisi yardımıyla Denklem 6 ve Denklem 7 ile aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\bar{K} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{matrix} \langle 0.5688, 0.2715; 0.209 \rangle \\ \langle 0.5663, 0.2627; 0.130 \rangle \\ \langle 0.6904, 0.3915; 0.096 \rangle \\ \langle 0.5247, 0.2553; 0.145 \rangle \end{matrix}$$

Adım 6: Bu vaka için yönetim iyimser bakış açısını $\lambda=0.7$ olarak belirlemek istemektedir.

Adım 7: Denklem 8'de önerilen puan fonksiyonu (durulaştırma fonksiyonu) yardımıyla alternatiflerin puanları şu şekilde bulunmuştur: $A_1 = 0.265$, $A_2 = 0.248$, $A_3 = 0.300$, $A_4 = 0.236$.

Böylece, alternatiflerin sıralaması $A_3 > A_1 > A_2 > A_4$ olarak ortaya çıkmıştır.

Adım 8: Her $\lambda \in [0,1]$ değeri için değerler ve sıralama sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. λ değeri için duyarlılık analizi

Score	A_1	A_2	A_3	A_4	Sıralama
$\lambda=0$	0.001	0.040	0.054	0.021	$A_3 > A_2 > A_4 > A_1$
$\lambda=0.1$	0.038	0.070	0.089	0.052	$A_3 > A_2 > A_4 > A_1$
$\lambda=0.2$	0.076	0.099	0.125	0.083	$A_3 > A_2 > A_4 > A_1$
$\lambda=0.3$	0.114	0.129	0.160	0.113	$A_3 > A_2 > A_1 > A_4$
$\lambda=0.4$	0.152	0.159	0.195	0.144	$A_3 > A_2 > A_1 > A_4$
$\lambda=0.5$	0.190	0.189	0.230	0.175	$A_3 > A_1 > A_2 > A_4$
$\lambda=0.6$	0.227	0.219	0.265	0.206	$A_3 > A_1 > A_2 > A_4$
$\lambda=0.7$	0.265	0.248	0.300	0.236	$A_3 > A_1 > A_2 > A_4$
$\lambda=0.8$	0.303	0.278	0.336	0.267	$A_3 > A_1 > A_2 > A_4$
$\lambda=0.9$	0.341	0.308	0.371	0.298	$A_3 > A_1 > A_2 > A_4$
$\lambda=1$	0.379	0.338	0.406	0.328	$A_3 > A_1 > A_2 > A_4$

Tam kötümser durum $\lambda=0$ olduğunda ortaya çıkar ve sıralama sonucu $A_3 > A_2 > A_4 > A_1$ 'dir. Tam iyimser durum $\lambda=1$ olduğunda ortaya çıkar ve sıralama sonucu $A_3 > A_1 > A_2 > A_4$ olur. Kötümserden iyimser doğru diziler incelendiğinde, en kötü alternatif A_1 'den A_4 'e değişir, ancak en iyi alternatif A_3 değişmez. İyimser senaryoya doğru, A_1 alternatifi sıralamada ileriye giderken, alternatif A_4 sıralamada gerilemeye başlar. Böylece yönetici tarafından verilen λ değerinin puana ve sıralamaya yansımından bahsedilebilir.

Çok kriterli karar verme yaklaşımları bulanık mantık ile bütünleştirilerek uygulanarak insan doğasındaki belirsizlikleri modellere aktarmada sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma ile alternatifleri belirlenen ölçütlere dayalı olarak değerlendirmek için dairesel bulanık çok kriterli karar verme üzerine yeni bir metodoloji önerilmektedir. Sezgisel bulanıklığın yeni bir uzantısı olan D-SBK'yi sıralamak için yeni durulaştırma fonksiyonları önerilmiştir. Yöntem, sağlık turizmi merkezi seçiminde uygulanmıştır. Duyarlılık analizi ile birlikte λ parametresindeki değişkenliğin etkisi araştırılmıştır.

Gelecekteki araştırmalar için karar verme sürecinde yeni durulaştırma ve doğruluk fonksiyonları tanımlanabilir. Çok kriterli karar verme metodolojisi, yeni operatörler uyarlanarak zenginleştirilmelidir. Gerçek hayattaki vakalar, dairesel sezgisel çok kriterli karar verme prosedürleri ile uygulanmalıdır. Sağlık turizmi merkezi problemlerinde ele alınan kriter ve alternatif sayıları artırılarak daha geniş kapsamlı değerlendirme modelleri oluşturulabilir. Ayrıca, Türkiye'yi ele alan çalışmanın diğer ülkelerde yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak rekabet analizi yapılabilir.

Kaynakça

- Akinboade, O. A., & Braimoh, L. A. (2010). International tourism and economic development in South Africa: A Granger causality test. *International Journal of Tourism Research*, 12(2), 149-163. doi: 10.1002/jtr.743
- Amouzagar, S., Mojaradi, Z., Izanloo, A., Beikzadeh, S., & Milani, M. (2016). Qualitative examination of health tourism and its challenges. *International Journal of Travel Medicine and Global Health*, 4(3), 88-91. doi: 10.21859/IJTMGH-040304
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96. doi: 10.1016/S0165-0114(86)80034-3
- Atanassov, K. T. (2020). Circular intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(5), 5981-5986. doi: 10.3233/JIFS-189072
- Carrera, P. M., & Bridges, J. F. (2006). Globalization and healthcare: understanding health and medical tourism. *Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research*, 6(4), 447-454. doi: 10.1586/14737167.6.4.447
- Chen, S. M., & Tan, J. M. (1994). Handling multicriteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory. *Fuzzy sets and systems*, 67(2), 163-172. doi: 10.1016/0165-0114(94)90084-1
- Çakır, E., Taş, M.A. & Ulukan, Z. (2021). Circular Intuitionistic Fuzzy Sets in Multi Criteria Decision Making. *11th International Conference On Theory And Application Of Soft Computing, Computing With Words, Perception And Artificial Intelligence (ICSCCW 2021)*. Antalya, Turkey. 23 - 24 August 2021.
- Çakır, E., & Ulukan, Z. (2020). Sustainable health tourism site selection with a fuzzy linguistic prolog. In *Developments of Artificial Intelligence Technologies in Computation and Robotics: Proceedings of the 14th International FLINS Conference (FLINS 2020)*, pp. 1456-1463.
- Ghasemi, P., Mehdiabadi, A., Spulbar, C., & Birau, R. (2021). Ranking of Sustainable Medical Tourism Destinations in Iran: An Integrated Approach Using Fuzzy SWARA-PROMETHEE. *Sustainability*, 13(2), 683. doi: 10.3390/su13020683
- Han, J. S., Lee, T. J., & Ryu, K. (2018). The promotion of health tourism products for domestic tourists. *International Journal of Tourism Research*, 20(2), 137-146. doi: 10.1002/jtr.2161
- Hung, Y. H., Ma, J., Chou, J. C. L., & Tzeng, G. H. (2014, September). Improving medical tourism services based on a hybrid MCDM model combined by DANP and VIKOR techniques. In *2014 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology* (pp. 486-488). IEEE. doi: 10.1109/ICMIT.2014.6942475
- Izadi, M., Ayoobian, A., Nasiri, T., Joneidi, N., Fazel, M., & Hosseinpourfard, M. J. (2012). Situation of health tourism in Iran; opportunity or threat. *Journal of Military Medicine*, 14(2), 69-75.
- Kahraman, C., & Alkan, N. (2021). Circular intuitionistic fuzzy TOPSIS method with vague membership functions: Supplier selection application context. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Set*, 27(1), 24-52. doi: 10.7546/nifs.2021.27.1.24-52
- Kantar, G., & Işık, E. (2014). Türkiye'de sağlık turizmi. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 1(1), 15-20. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/752395>
- Kuşen, E. (2011). Positioning medical tourism in the broader framework of health tourism. *Tourism: an international interdisciplinary journal*, 59(1), 95-99.
- Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of intelligent & fuzzy systems*, 36(1), 337-352. doi: 10.3233/JIFS-181401
- Lee, C. W., & Li, C. (2019). The process of constructing a health tourism destination index. *International journal of environmental research and public health*, 16(22), 4579. doi: 10.3390/ijerph16224579
- Pan, X., Yang, Z., Han, F., Lu, Y., & Liu, Q. (2019). Evaluating potential areas for mountain wellness tourism: A case study of Ili, Xinjiang Province. *Sustainability*, 11(20), 5668. doi: 10.3390/su11205668
- Roy, J., Chatterjee, K., Bandyopadhyay, A., & Kar, S. (2018). Evaluation and selection of medical tourism sites: A rough analytic hierarchy process based multi-attribute border approximation area comparison approach. *Expert Systems*, 35(1), e12232. doi: 10.1111/exsy.12232
- Sarişik, M., Turkey, O., & Akova, O. (2011). How to manage yacht tourism in Turkey: A swot analysis and related strategies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 24, 1014-1025. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.09.041
- Smarandache, F. (1998). Neutrosophy: neutrosophic probability, set, and logic: analytic synthesis & synthetic analysis.
- T. C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2021). *Türkiye'de Sağlık Turizmine Yönelik Yapılan Çalışmaları ve Etkinlikler*. <https://yigm.ktb.gov.tr/TR-11479/turkiye39de-saglik-turizmine-yonelik-yapilan-calismalar-.html>. Erişim Tarihi: 14.07.2021

- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539. doi: 10.1002/int.20418
- Tureac, C. E., & Turtureanu, A. (2010). Types and forms of tourism. *Acta Universitatis Danubius. Œconomica*, 4(1). <http://www.journals.univ-danubius.ro/index.php/oeconomica/article/view/60/56>
- Türkiye Seyahat Acentaları Birliği (TÜRSAB). (2021). *Turizm gelirleri*. <https://www.tursab.org.tr/istatistikler-icerik/turizm-geliri>. Erişim Tarihi: 10.07.2021
- Uluslararası Sağlık Hizmetleri A. Ş. (USHAS). (2021). Sağlık Turizmi Verileri. <https://www.ushas.com.tr/saglik-turizmi-verileri/> Erişim Tarihi: 10.07.2021
- World Tourism Organization (UNWTO). (2018). *Exploring Health Tourism – Executive Summary*. <https://www.unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284420308> Erişim Tarihi: 11.07.2021
- World Tourism Organization (UNWTO). (2019). *International Tourism Highlights, 2019 Edition*, Madrid. doi: 10.18111/9789284421152 Erişim Tarihi: 11.07.2021
- Xu, Z. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 15(6), 1179-1187. doi: 10.1109/TFUZZ.2006.890678
- Yager, R. R. (2013, June). Pythagorean fuzzy subsets. In *2013 joint IFSA world congress and NAFIPS annual meeting (IFSA/NAFIPS)* (pp. 57-61). IEEE. doi: 10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375
- Yang, J. Y., Paek, S., Kim, T. T., & Lee, T. H. (2015). Health tourism: Needs for healing experience and intentions for transformation in wellness resorts in Korea. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 27(8), 1881-1904. doi: 10.1108/IJCHM-11-2013-0505
- Yu, X., & Xu, Z. (2013). Prioritized intuitionistic fuzzy aggregation operators. *Information Fusion*, 14(1), 108-116. doi: 10.1016/j.inffus.2012.01.011
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X



A Conceptual Design of LoRa based Weather Monitoring System for Smart Farming

Hakkı Soy^{1*}, Yusuf Dilay²

^{1*} Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3938-0381), hakkisoy@erbakan.edu.tr

² Karamanoglu Mehmetbey University, Vocational School of Technical Sciences, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5365-5137), ydilay@kmu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011947)

ATIF/REFERENCE: Soy, H. & Dilay, Y. (2021). A Conceptual Design of LoRa based Weather Monitoring System for Smart Farm Management. *European Journal of Science and Technology*, (28), 906-910.

Abstract

Internet of Things (IoT) based smart farming applications opens up new opportunities for monitoring the agricultural fields. There are different communication protocols can be used in practice to connect the IoT-enabled devices. Among them, the low-power, wide area network (LPWAN) based protocols are well suited to the specific needs of agricultural applications due to their energy-efficient transmission of small data packets over long distances. This study presents the conceptual design of LoRa based weather monitoring system that can be used to warn the farmers about possible crop damages due to harsh weather conditions. The hardware design of a low-cost weather station has been explained in details. Also, the estimated coverage area of the application to be carried out in order to reduce the risk of apple flowering frost damage risk in Karaman Province, Turkey was evaluated using the Xirio Online radio planning tool. The obtained results have verified the feasibility of proposed weather monitoring system.

Keywords: LoRa, Smart Farming, Weather Station, IoT, Xirio.

Akıllı Tarım için LoRa tabanlı Meteorolojik İzleme Sisteminin Kavramsal Tasarımı

Öz

Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı akıllı tarım uygulamaları, tarımsal alanları izlemek için yeni fırsatlar sunuyor. IoT özellikli cihazları bağlamak için pratikte kullanılacak farklı haberleşme protokolleri vardır. Bunlar arasında düşük güç geniş alan ağı (LPWAN) tabanlı protokoller, küçük veri paketlerinin uzun mesafelerde enerji verimli iletimi nedeniyle tarımsal uygulamaların özel ihtiyaçlarına çok uygundur. Bu çalışma, çiftçileri sert hava koşullarından kaynaklı olası mahsul hasarları konusunda uyararak için kullanılacak LoRa tabanlı meteorolojik izleme sisteminin kavramsal tasarımını sunmaktadır. Bu kapsamda düşük maliyetli bir meteoroloji istasyonunun donanım tasarımı detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca Karaman ilinde elma çiçeklenme don hasarı riskini azaltmak için gerçekleştirilecek uygulamanın tahmini kapsama alanı Xirio Online radyo planlama aracı kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen meteorolojik izleme sisteminin uygulanabilirliğini doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: LoRa, Akıllı Tarım, Meteoroloji İstasyonu, Nesnelerin İnterneti, Xirio.

* Corresponding Author: hakkisoy@erbakan.edu.tr

1. Introduction

Agriculture is one of the most fundamental human occupation and it has a great importance for socioeconomic development of nations. Today, the need for efficiency in agricultural production has become inevitable due to the increasing world population and the resulting excessive consumption (FAO, 2011). Smart farming is a new vision that adopts the information and communication technologies (ICTs) to increase the quality and quantity of harvests while reducing the cost and environmental impact. It also simplifies the farming processes by strengthening the implementation of precision agriculture practices (FAO, 2017; Rubio and Más, 2020).

Precision agriculture mainly depends on the collection, storage and analysis of data for application of the right amount of input (e.g., fertilizers, irrigation water, pesticides and seeds) in the right time and right place (Lohchab *et al.*, 2018; Gyarmati and Mizik, 2020; Andrew *et al.*, 2020). The major motivation is the application of modern methods to effectively monitor and control of spatial and temporal dynamics associated with all aspects of agricultural production. Thanks to the high-resolution sensor data streams and advanced data analytics, it is possible to get the insight into the within-field variability of soil and weather properties, which are related to crop growth and yield (Li and Niu, 2020; Lakhari *et al.*, 2018).

During the last decade, many farmers have faced some challenges in management of agricultural operations, as they try to produce high yields and protect the environment. Smart farming has a power to overcome the emerging difficulties by integrating artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), big data and cloud computing technologies with farmers' agricultural activities (Charania and Li, 2020). Especially, the use of IoT-based applications is a key for sustainable crop production in large agricultural fields. Indeed, the IoT is the network of physical devices (also known as things) equipped with sensors, actuators and embedded software (Miorandi *et al.*, 2012). It enables to establish an ecosystem of distributed services that are running on the cloud (Elijah *et al.*, 2018).

The weather plays an extremely important role in agricultural activities of farmers in reaping healthy and abundant yields. Since every stage of agricultural activities depends on the weather conditions, the meteorology is essential for agricultural business. By monitoring the weather parameters (i.e., air temperature, relative humidity, barometric pressure, light intensity, rain, speed and direction of wind) in agricultural fields, the farmers can take precautions ahead of time, during all the stages of growth right from seedling to harvesting (Vining, 1990). Each type of crop requires a specific growing temperature. Besides, some chemicals should be sprayed on dry surfaces, while the others require moisture to trigger the curing reaction. Unexpected rainfalls significantly disturb the crops in harvesting season. Beyond that, the sudden temperature drops pose an immense risk to crop damage due to the frost (Hatfield and Prueger, 2015; EOS, 2021; EPA, 2021).

This study introduces an IoT-based remote monitoring system that aims to provide a reliable agricultural management through real-time weather reports. Here, a number of low-cost weather stations are placed over the large agricultural fields to save the costs and minimize the risks. LoRa connectivity has been used to network distributed weather stations. We have presented

the hardware design details of weather station. Also, we have investigated the coverage area of typical LoRa network by considering the flowering frost damage risk of apple orchards in Karaman Province, Turkey.

2. System Model

Proposed system consists of a number of low-cost weather stations that are deployed in different geographical locations within a large agricultural field to collectively monitor the meteorological conditions. Figure 1 shows the system model of the LoRa based weather monitoring application. In accordance with LoRa network architecture, each weather station acts as an end device and sends collected data to network server through gateway. LoRaWAN specification allows that more than one gateways, which can receive a message sent by any end device. The gateways collect the data packets from end devices and then forward them to the network server through IP connection.

3. Hardware Design

The main contribution of this study is a LoRa based weather station that best suits to requirements of agricultural applications. Figure 2 and Figure 3 show respectively the 3D viewpoints of our designed LoRa weather station from the front and back sides. In our hardware design of weather station, we have used the TE Connectivity's MS8607 series digital sensor that combine three environmental measurements, namely pressure, relative humidity and temperature. The manufacturer have specified the operating ranges of MS8607 sensor as 10 to 2000 mbar, 0 to 100 %RH and -40 to 85 °C. MS8607 sensor provides all these weather-related parameters recorded as 16-bit values and it sends to microcontroller via I2C interface. It should be emphasized that the MS8607 sensor is very suitable for weather stations due to the ultra-low power consumption as well as high accuracy and compactness (QFN package $5 \times 3 \times 1$ mm³) (TE, 2017).

Besides, designed weather station was also equipped with Microchip RN2483 LoRa transceiver module for networking with cloud server. RN2483 module contains a PIC18LF46K22 microcontroller with Semtech SX1276 transceiver. It can be set to serve as an end device in the LoRa network infrastructure with LoRaWAN Class A protocol stack. RN2483 could use both 433 MHz and 868 MHz license-free Industry Scientific and Medical (ISM) frequency bands. The receiver sensitivity is down to -146 dBm and the transmitter produces output power adjustable up to $+14$ dBm. According that, the coverage range is about 5 to 15 km in urban and suburban areas, respectively (Microchip, 2021).

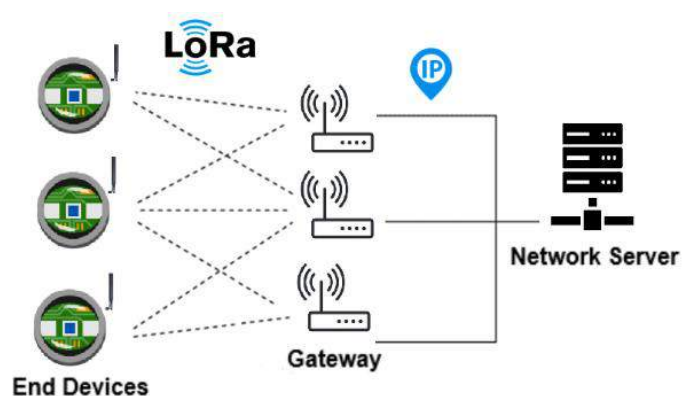


Figure 1. System model of the agricultural weather monitoring

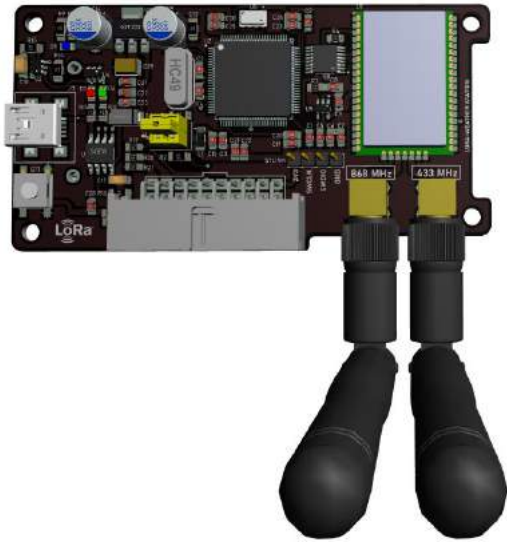


Figure 2. The front side view of designed LoRa weather station

On the other hand, proposed system needs a gateway to complete the signal path from sensors to server. Due to the complexity of both hardware design and especially embedded firmware development procedures, we have preferred to use a ready-made LoRa gateway, namely RAK831 concentrator module and Raspberry Pi single board computer, instead of designing it ourselves. The RAK831 is a multi-channel transceiver module (RAK, 2021), which is designed to receive several LoRa packets simultaneously using different spreading factors on multiple channels. But, the RAK831 needs a host like as Raspberry Pi for management of data streams come from end devices. The host processor of Raspberry Pi can be connected to RAK831 concentrator via USB or SPI lines. Figure 4 shows the RAK831 based LoRa gateway.

In a typical LoRa network, each end device changes the spreading factor (from SF7 to SF12) according to current wireless channel conditions to minimize the bit error rate (BER) of packet transmission, while increasing the data rate. The RAK831 is equipped with Semtech's SX1301 multi-channel modem which is a digital baseband chip including a powerful digital signal processing capabilities. It has a receiver sensitivity of -142.5 dBm with SX1257 RF front-end transceiver. The SX1301 digital baseband chip contains up to 10 programmable parallel demodulation paths. These are IF0 to IF7 LoRa channels (125 kHz), IF8 LoRa channel (125, 250 or 500 kHz) and IF9 (G)FSK channel (Semtech, 2017). Over the SX1257 connected IF8 channel, SX1301 modem can be established a demodulation path, which is compatible with the signals transmitted by end devices equipped with SX1272 and SX1276 transceivers. Essentially, we have considered to use this connection in proposed agricultural weather monitoring application.

4. Coverage Analysis

The other aim of this study is to investigate the coverage area and signal level analysis of the LoRa network, which will be created with reference to designed weather station and gateway. Hereby, we have focus on the apple orchards established in Karaman to minimize the flowering frost damage risk. For this purpose, we have used the Xirio Online radio planning tool from Aptica (Xirio, 2021). The coverage analysis has been performed at 868 MHz frequency band by using the parameters in Table 1.

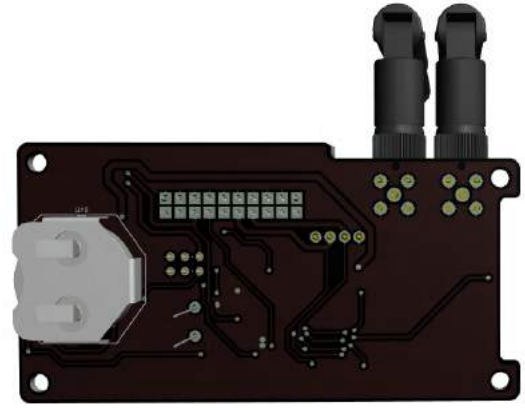


Figure 3. The back side view of designed LoRa weather station

The obtained coverage estimation map of RN2483 based weather station is shown by Figure 5. According to the built-in digital terrain model (DTM) of Aptica, it is possible to receive the meteorological reports sent from the weather station located between Burunoba and Akçaşehir through a gateway in Karaman city center. We also investigate the variation of the signal level on the propagation path between the centers of Karaman and Akçaşehir. As seen from Figure 6, the establishment of the LoRa connection is not feasible due to long distance and harsh topography of the terrain. It is obvious that the signal level fall under the receiver sensitivity due to the hills at the south-west of the Akçaşehir. But, thanks to the multiple gateway coexistence in LoRa network, it is still possible to create larger areas that are cover the entire apple orchards.

5. Conclusions

Recently, lots of LoRa deployments have been realized regarding the agricultural applications that are focus on remote monitoring of farming activities. Low cost, more flexibility and extended coverage are indispensable requirements of these applications to improve the efficiency of operations while maintaining the sustainable crop production. In this paper, a novel LoRa based weather station prototype design has been presented for building a private agricultural LoRa network. In addition, the coverage area of the planned LoRa network has been investigated by using Xirio Online radio planning tool. The apple orchards established around Akçaşehir region in Karaman province were selected as the target. It is clear that the completed conceptual design study will simplify the development process in near future.



Figure 4. RAK831 based LoRa gateway with Raspberry Pi

Table 1. Simulation parameters for coverage analysis

Parameter	End Device	Gateway
Antenna height	1.5 meter	3 meter
Antenna gain	2.15 dBi	2.15 dBi
Transmit power	+14 dBm	--
Receiver sensitivity	--	-142.5 dBm

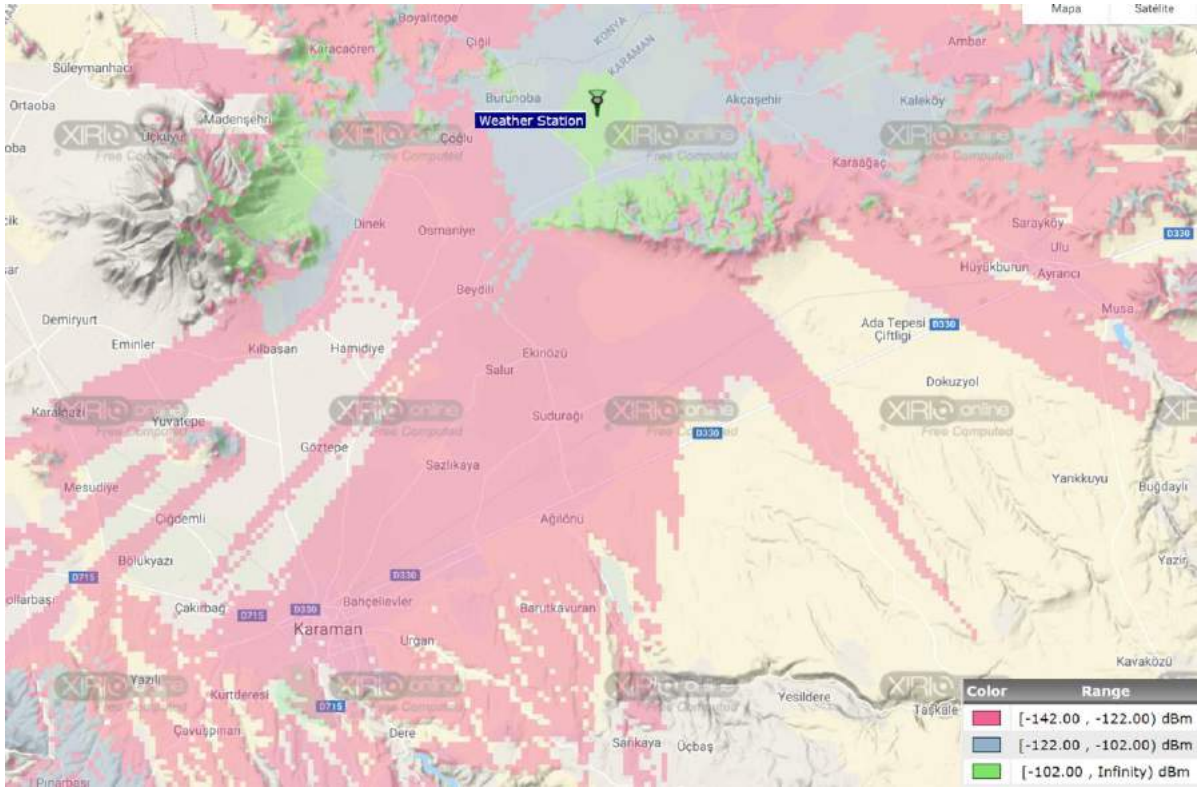


Figure 5. The coverage area of LoRa network with XIRIO tool

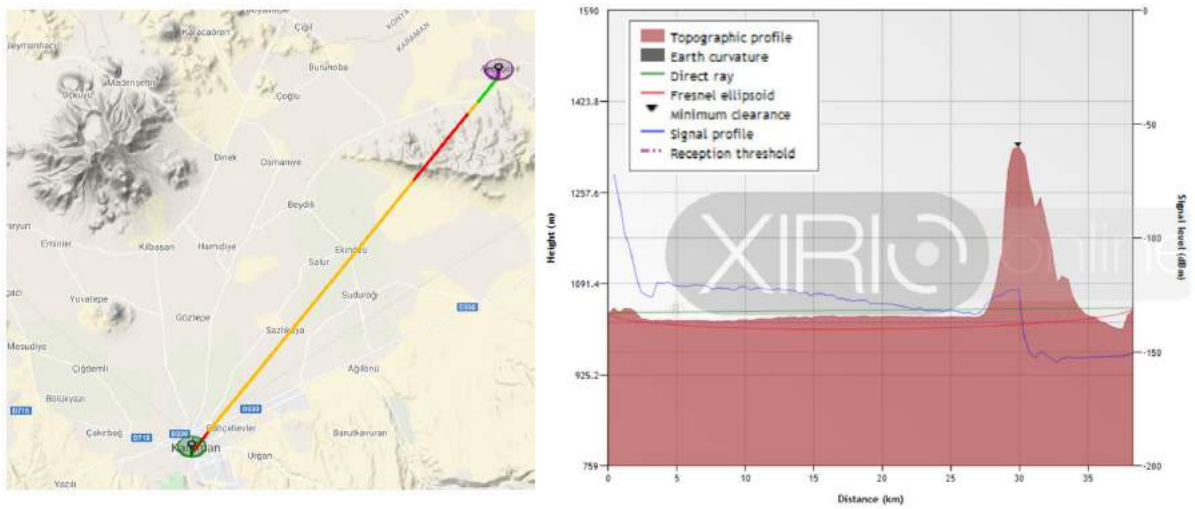


Figure 6. The signal level investigation with XIRIO tool

References

- Andrew, R. C., Malekian, R. & Bogatinoska, D. C. (2018) IoT solutions for precision agriculture. *41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 345–349, Opatija, Croatia.
- Charania, I. & Li, X. (2020) Smart farming: Agriculture's shift from a labor intensive to technology native industry. *Internet of Things*, 9(6), 1–20.
- Elijah, O., Abd Rahman, T., Orikumhi, I., Leow, C. Y. & Hindia, M. (2018) An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3758–3773.
- EOS. (2021, January 26) Weather in Agriculture: Accuracy Promotes Success. <https://eos.com/blog/weather-in-agriculture>
- EPA. (2021) Climate Impacts on Agriculture and Food Supply. https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-agriculture-and-food-supply_.html
- Gyarmati, G. & Mizik, T. (2020) The present and future of the precision agriculture. *IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE)*, 593–596, Budapest, Hungary.
- Hatfield, J. L. & Prueger, J. H. (2015) Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10.
- Lakhiar, I. A., Jianmin, G., Syed, T. N., Chandio, F. A., Buttar, N. A. & Qureshi, W. A. (2018) Monitoring and Control Systems in Agriculture Using Intelligent Sensor Techniques: A Review of the Aeroponic System. *Journal of Sensors*, 2018, 1–18.
- Li, C. & Niu, B. (2020) Design of smart agriculture based on big data and Internet of things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(5), 1–11.
- Lohchab, V., Kumar, M., Suryan, G., Gautam, V. & Das, R. K. (2018) A Review of IoT based Smart Farm Monitoring,” *Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, 1620-1625, Coimbatore, India.
- Microchip Technology Inc. (2021) RN2483 Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module Datasheet. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/RN2483-Low-Power-Long-Range-LoRa-Technology-Transceiver-Module-Data-Sheet-DS50002346D.pdf>
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. & Chlamtac, I. (2012) Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10, 1497–1516.
- RAKwireless. (2021) RAK831 WisLink LPWAN Concentrator. <https://store.rakwireless.com/products/rak831-gateway-module?variant=39942881083590>
- Rubio, V. S. & Más, F. R. (2020) From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*, 10(2), 1–21.
- TE Connectivity. (2017) MS8607-02BA01 PHT Combination Sensor Datasheet. https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FMS8607-02BA01%7FB3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_MS8607-02BA01_B3.pdf%7FCAT-BLPS0018
- The Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. (2011), *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing Systems at Risk*.
- The Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. (2017), [2] *Information and Communication Technology (ICT) in Agriculture: A Report to the G20 Agricultural Deputies*.
- Vining, K. C. (1990) Effects of weather on agricultural crops and livestock: an overview. *International Journal of Environmental Studies*, 36(1-2), 27–39.



Occurrence and characteristics of staphylococci and enterococci in retail fish used for human consumption in Turkey

Meryem Burcu Külahcı^{1*}, Neslihan Gündoğan²

^{1*} Gazi University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5007-5209), meryemburcu@gazi.edu.tr

² Gazi University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0691-4917), gundogan@gazi.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012061)

ATIF/REFERENCE: Külahcı, M. B. & Gündoğan, N. (2021). Occurrence and characteristics of staphylococci and enterococci in retail fish used for human consumption in Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (28), 911-916.

Abstract

A total of 163 (66.0 %) *Staphylococcus* isolates and 52 (21.0 %) *Enterococcus* isolates were isolated from 247 fish samples consisting of Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic bonito (*Sarda sarda*), Sea trout (*Salmo trutta*), and European seabass (*Dicentrarchus labrax*). The *Staphylococcus* isolates were identified as *S. aureus* (8.0 %), *S. intermedius* (6.7 %), *S. warneri* (32.0 %), *S. hemolyticus* (22.7 %), *S. saprophyticus* (7.4 %), *S. simulans* (5.5 %), *S. capitis* (5.5 %), *S. xylosus* (4.9 %), *S. epidermidis* (4.3 %), *S. schleiferi* (1.8 %) and *S. caprae* (1.2 %). The *Enterococcus* isolates were identified as *E. faecalis* (46.1 %), *E. avium* (25.0 %), *E. solitarius* (11.5 %), *E. gallinarium* (7.7 %), *E. casseliflavus* (6.0 %), *E. maladoratus* (1.9 %), and *E. flavescens* (1.9 %). The majority of *Staphylococcus* strains had biofilm formation (93.8 %), lipase production (89.6 %), slime production (84.0 %), hemolytic activity (69.9 %), DNase activity (63.1 %) and protease production (57.0 %). Biofilm formation, slime formation, DNase activity, proteolysis, and hemolysis were detected in 94.2 %, 90.3 %, 57.7 %, 36.5 %, and 3.8 % of *Enterococcus* strains, respectively. None of the *Enterococcus* species had lipolytic activity.

Keywords: *Staphylococcus*, *Enterococcus*, biofilm, slime, protease, lipase, DNase, hemolysin.

Türkiye'de tüketime sunulan perakende balıklarda stafilokok ve enterokok varlığı ve özellikleri

Öz

Araştırmamızda, Atlantik somonu (*Salmo salar*), palamut (*Sarda sarda*), deniz alabalığı (*Salmo trutta*) ve avrupa levreğinden (*Dicentrarchus labrax*) oluşan 247 balık örneğinden, toplam 163 (%66.0) *Staphylococcus* ve 52 (%21.0) *Enterococcus* izole edilmiştir. *Staphylococcus* izolatları, *S. aureus* (%8.0), *S. intermedius* (%6.7), *S. warneri* (%32.0), *S. hemolyticus* (%22.7), *S. saprophyticus* (%7.4), *S. simulans* (%5.5), *S. capitis* (%5.5), *S. xylosus* (%4.9), *S. epidermidis* (%4.3), *S. schleiferi* (%1.8) ve *S. caprae* (%1.2) olarak adlandırılmıştır. *Enterococcus* izolatları ise, *E. faecalis* (%46.1), *E. avium* (%25.0), *E. solitarius* (%11.5), *E. gallinarium* (%7.7), *E. casseliflavus* (%6.0), *E. maladoratus* (%1.9) ve *E. flavescens* (%1.9) olarak adlandırılmıştır. *Staphylococcus* izolatlarının çoğunda biyofilm oluşumu (%93.8), lipaz üretimi (%89.6), slime üretimi (%84.0), hemolitik aktivite (%69.9), DNaz aktivitesi (%63.1) ve proteaz üretimi (%57.0) tespit edilmiştir. *Enterococcus* izolatlarının sırasıyla %94,2'sinde, %90,3'ünde, %57,7'sinde, %36,5'inde ve %3,8'inde biyofilm oluşumu, slime oluşumu, DNaz aktivitesi, proteoliz ve hemoliz tespit edilmiştir. *Enterococcus* türlerinin hiçbirinde lipolitik aktivite belirlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: *Staphylococcus*, *Enterococcus*, biyofilm, slime, proteaz, lipaz, DNaz, hemolizin.

* Corresponding Author: meryemburcu@gazi.edu.tr

1. Introduction

Turkey has more than 8000 km of coastline in the Mediterranean, Aegean Sea, Marmara Sea and the Black Sea. In Turkey, 432. 246 tons of fish from seas and 37. 096 tons from inland waters were caught in 2011. In the same year, 187.343 tons of fish were aquacultured. In this year, about 168. 340 tons of total fishes were consumed in Ankara [1].

Retail stores are the endpoint of the seafood production chain. Although many bacterial species are not found in the normal flora of seafood, they are transmitted from food processing surfaces through cross-contamination [2], [3].

Although staphylococci are part of the normal microbiota of humans and animals, they are not members of the normal flora of fish. The presence of staphylococci in fish is an indication of poor hygiene of product handling personnel or disease in fish [4]. Humans are common carriers of *S. aureus* in the nose, throat, and skin infections and can easily be transferred to food during handling. Some strains of *Staphylococcus* can cause food poisoning by producing enterotoxins in food products [5]. Coagulase-negative staphylococci (CNS), which are generally considered as bacteria of low pathogenicity, have been found as causative agents of severe or even lethal infections in immunocompromised patients [6]. The virulence and pathogenicity of staphylococci are closely related to a wide variety of extracellular enzymes associated with their ability to colonize within the host and induce lysis of phagocytic cells. Examples of virulence factors for *S. aureus* are leukocidin, hyaluronidase, capsule, catalase, hemolysins, leukotoxin, proteases, lipases, deoxyribonucleases (DNase), and enterotoxins. Similar enzyme activities have been observed in CNS [7].

Enterococci are members of the normal flora of the gastrointestinal tract of humans and animals. They are also isolated from soil, water, plants, raw vegetables, and various foods, probably because of the contamination of the environment by human and animal feces [8]. Although regarded as harmless commensals, recently, enterococci have emerged as a cause of worldwide nosocomial infections in immunocompromised patients. Within the genus *Enterococcus*, *E. faecalis* is responsible for the majority of infections, followed by *E. faecium* [8].

In recent years, many virulence factors such as cytolysins, gelatinase, serine protease, hyaluronidase, aggregation agent, extracellular surface protein, cell wall adhesins and biofilm formation have been identified in enterococci [9]. Although isolates containing virulence factors have been identified in foods, no food-borne enterococcal infection has been reported yet [9].

Up to now, virulent staphylococci and enterococci originating from meat, milk and dairy samples [10], [11] as well as clinical samples [12], [13] have been reported. However, there is a lack of information on the characterization of staphylococci and enterococci from fish samples sold in the fish markets.

Therefore, the present study aimed to investigate the biofilm, slime, protease, lipase, DNase and hemolysins production of staphylococci and enterococci isolated from fish samples in Ankara, Turkey.

2. Material and Method

2.1. Sample Collection and Preparation

Two hundred forty seven fish samples (70 Atlantic salmon, 62 Atlantic bonito, 60 Seat trout, 55 European seabass) were bought from four different fish markets in Ankara, Turkey. Individual fish were collected in polyethylene bags and transported to the laboratory in an ice chest. They were immediately analyzed microbiologically for staphylococci and enterococci. Gill and intestine of each fish were inoculated into tryptic soy broth (TSB; Oxoid, Basingstoke, Hampshire, UK) for enrichment at 37 °C for 24-48 h.

2.2. Isolation and Identification of *Staphylococcus* spp.

From each sample, isolation and identification procedures were performed following the method of Gundogan et al., 2013 [11]. Coagulase activity of *Staphylococcus* spp. was determined by the method described by Quinn et al. [14].

2.3. Isolation and Identification of *Enterococcus* spp.

Isolation and identification of *Enterococcus* spp., also was done by following the method of Gündoğan et al. [11]. API 20 STREP (Bio Merieux SA, Marcy-l'Etoile, France) test kit was used to identify the isolates at the species level. *E. faecalis* CCM 254, *E. faecium* CCM 2518, and *Enterococcus durans* CCM 5612 were used as control strains.

2.3. Determination of Slime Formation

Production of slime from all isolates was studied by the cultivation of the isolates on CRA (Congo Red Agar, Oxoid). After incubation, bright black colonies were established as slime positive [10], [11].

2.4. Determination of Quantitative Biofilm Formation

Biofilm-forming ability was measured by the determination of adhesion to polystyrene microtiter plates according to the protocol of Christensen et al. [15]. The adherence ability of the tested strains was classified into four categories based on the OD: “ $OD \leq OD_c$: non-adherent, $OD_c < OD \leq 2XOD_c$: weakly adherent, $2XOD_c < OD \leq 4XOD_c$: moderately adherent, $4XOD_c < OD$: strongly adherent”. All tests were carried out three times and the results were averaged.

2.5. Determination of Hemolysin Production, DNase, Protease and Lipase Activity

Hemolysin activity was determined on blood agar base (BAB, Oxoid) containing 5% defibrinized sheep blood. After 48 h at 37°C incubation, hemolytic activity was determined by evaluating the patency zones around the colonies [9]. DNase agar (Oxoid) was used to determine DNase activity. After overnight incubation, the isolates were considered DNase positive with the formation of clear colored areas around the colonies when 1 N HCl was poured into the plates [10], [11]. For determining proteolysis, the isolates were inoculated on skimmed milk agar (SMA, Oxoid). The plates were incubated for 10 days at +20°C. After incubation, a clear zone of casein hydrolysis was observed directly on SMA [16]. Nutrient Agar (Oxoid) containing 1% tributyrin (Fluka, Buchs, Germany) was

used to study lipolytic activity under psychrotrophic conditions. The isolates were inoculated on tributyrin agar plates and incubated for 10 days at +20°C. The presence of clear zones was taken as an indication of positive lipase activity [16].

2.6. Statistical Analysis

The Chi-square (χ^2) tests were used to determine statistically significant differences in the prevalence of *Staphylococcus* and *Enterococcus* in fish samples. P values of less than 0.05 were considered significant.

3. Results and Discussion

Staphylococci and enterococci are inhabitants of soil, water, plants and the wide range animals. That means they could enter into the food chain and contribute to disease and spoilage [10, 11]. The occurrence, origin, and species distribution of

Staphylococcus spp. and *Enterococcus* spp. in fish samples marketed in Ankara are shown in Table 1 and Table 2.

Table 1. Prevalence of *Staphylococcus* spp. and *Enterococcus* spp. in fish samples

Fishes	No. of tested samples	No. of Staph. Isolate (%)	No. of Ent. Isolate (%)
Freshwater fish			
Atlantic salmon	70	49 (70%)	15 (21%)
European seabass	55	36 (65%)	12 (22%)
Total	125	85 (68%)	27 (22%)
Seawater fish			
Sea trout	60	41 (68%)	12 (20%)
Atlantic bonito	62	37 (60%)	13 (21%)
Total	122	78 (64%)	25 (21%)
Overall Total	247	163 (66%)	52 (21%)

Table 2. Origin of isolates and species distribution of the staphylococci and enterococci

Isolates	Freshwater fish species				Seawater fish species				Total (%)
	Atlantic Salmon		European seabass		Sea trout		Atlantic bonito		
	Gill	Intestine	Gill	Intestine	Gill	Intestine	Gill	Intestine	
<i>S. aureus</i>	4	2	4	-	1	-	2	-	13 (8%)
<i>S. intermedius</i>	-	-	3	-	3	-	5	-	11 (7%)
<i>S. warnerii</i>	15	2	11	-	13	4	6	1	52 (32%)
<i>S. hemolyticus</i>	7	2	3	2	9	1	11	2	37 (23%)
<i>S. saprophyticus</i>	2	-	4	1	4	-	1	-	12 (7%)
<i>S. simulans</i>	2	2	-	1	-	3	-	9	9 (7%)
<i>S. capitis</i>	7	1	-	-	-	1	-	9	9 (6%)
<i>S. xyloso</i>	2	-	1	-	-	2	1	8	8 (5%)
<i>S. epidermidis</i>	-	1	4	1	1	-	-	7	7 (4%)
<i>S. schleiferi</i>	-	-	1	-	1	-	-	3	3 (2%)
<i>S. caprae</i>	-	-	-	-	-	1	1	2	2 (1%)
Total	39	10	31	5	34	7	32	5	163
<i>E. faecalis</i>	3	2	4	3	9	-	3	-	24 (46%)
<i>E. avium</i>	1	-	5	-	3	-	2	2	13 (25%)
<i>E. solitarius</i>	2	1	-	-	-	-	2	1	6 (12%)
<i>E. gallinarium</i>	-	1	-	-	-	-	1	2	4 (8%)
<i>E. casseliflavus</i>	1	2	-	-	-	-	-	-	3 (6%)
<i>E. maladoratus</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (2%)
<i>E. flavescens</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	1 (2%)
Total	9	6	9	3	12	-	8	5	52

In our study, 163 staphylococci and 52 enterococci isolates were obtained from 247 samples of Atlantic salmon, Atlantic bonito, Sea trout, and European seabass which are the most popular fishes consumed in Turkey. We found that there was not a significant difference in the staphylococci and enterococci contamination levels among freshwater fish and seawater fish ($P > 0.05$). It can be seen that both freshwater and seawater fish sold in the fish markets have high contamination with *Staphylococcus* spp. *Staphylococcus* spp. was observed in 70.0 %, 68.3 %, 65.4 % and 59.7 % of the Atlantic salmon, Sea trout, European seabass, and Atlantic bonito, respectively. High incidences of *Staphylococcus* spp. in fish samples have been reported by some researchers. Mhango et al. [17] reported 86 % from frozen tilapia, Hammad et al. [4] reported 92 % from ready-to eat raw fish (sashimi), and Boari et al. [18] reported 94.4 % from tilapia fresh fillets. According to our results, the most isolated CPS species were *S. aureus*, and *S. intermedius*. The CNS isolates were identified as *S. warneri*, *S. hemolyticus*, *S. saprophyticus*,

S. simulans, *S. capitis*, *S. xyloso*, *S. epidermidis*, *S. schleiferi* and *S. caprae*. Human nares and fingers are the main sources of *S. aureus*. Meanwhile, the incidence of CNS isolates (85.3 %) found in this study is much higher than those CPS isolates (14.7 %) ($P < 0.05$). Likewise, Boari et al. [18], Himelbloom and Crapo [19], and Grigoryan et al. [20] reported that CNS species comprised 75-80 % of the staphylococci isolates in salmon and tilapia fishes.

Enterococci live as part of the natural flora in the intestinal tract of animals and humans. They are considered as suitable indicators of fecal pollution in an aquatic environment [21]. Enterococci are isolated from many foods, including meat and dairy products [6], [10], [11]. In previous studies, *Enterococcus* spp. were isolated from clinical sources [21], [22], seawater [23], well water [6], and river water [21]. In the present study, the majority of the *Enterococcus* spp. was isolated from European seabass (21.8 %), followed by Atlantic salmon (21.4 %), Atlantic

bonito (21.0 %), and Sea trout (20.0 %). *Enterococcus* isolates were identified at species level as *E. faecalis*, *E. avium*, *E. solitarius*, *E. gallinarium*, *E. casseliflavus*, *E. maladoratus* and *E. flavescens*. The species identified in this study were similar to the reported by Hammad et al. [4] who showed that 96 enterococcal isolates recovered from 90 samples of retail ready-to-eat raw fish (sashimi) were *E. faecalis* (32.2 %), *E. faecium* (7.2 %), *E. casseliflavus* (7.2 %) and *E. gallinarium* (3.1 %). The high incidence of *E. faecalis* in the present study contrasted with previous reports by Al Bulushi et al. [24] and Valenzuela et al. [25], in which *E. faecium* was the most common species. There may be several reasons for these variations, such as differences in geographic location and season and differences in fish species studied. Fish samples were obtained from a wide variety of sources and vendors with different storage conditions, which is

thought to have resulted in different results. According to Mol and Saglam [26], fish boxes are generally laid on the floor, and this is a major cause of bacterial contamination in Turkish fish markets. Furthermore, the transportation of fish from seaside cities to Ankara will take at least 5 hours. During the transportation, sprinkling of fish with contaminated water, packing it with contaminated ice, coupled with unhygienic handling may explain the high prevalence of bacteria in fish in the markets.

Our results show that most of the *Staphylococcus* spp., and *Enterococcus* spp. isolated from fish samples have the ability to produce biofilm, slime, protease, lipase, DNase, and hemolysins (Table 3). However, there are no comparable studies on these properties produced by staphylococci and enterococci isolates from fish samples.

Table 3. The production of dnase, slime, biofilm, hemolysins, protease and lipase among *Staphylococcus* and *Enterococcus*

Species	DNase n (%)	Slime n (%)	Biofilm n (%)	β -Hemolysis n (%)	Proteolysis n (%)	Lipolysis n (%)
<i>S. aureus</i> (13)	11 (85%)	13 (100%)	11 (85%)	12 (100%)	13 (100%)	13 (100%)
<i>S. intermedius</i> (11)	4 (36%)	11 (100%)	9 (82%)	9 (82%)	11 (100%)	11 (100%)
<i>S. warnerii</i> (52)	31 (60%)	48 (92%)	52 (100%)	41 (79%)	32 (62%)	47 (90%)
<i>S. hemolyticus</i> (37)	26 (70%)	30 (81%)	33 (89%)	30 (81%)	9 (24%)	31 (84%)
<i>S. saprophyticus</i> (12)	9 (75%)	9 (75%)	12 (100%)	3 (25%)	12 (100%)	12 (100%)
<i>S. simulans</i> (9)	7 (78%)	6 (67%)	9 (100%)	3 (33%)	9 (24%)	8 (89%)
<i>S. capitis</i> (9)	-	5 (56%)	8 (88%)	5 (56%)	2 (22%)	8 (89%)
<i>S. xyloso</i> (8)	5 (63%)	6 (75%)	7 (88%)	1 (12%)	4 (50%)	7 (88%)
<i>S. epidermidis</i> (7)	5 (71%)	5 (71%)	7 (100%)	7 (100%)	-	4 (57%)
<i>S. schleiferi</i> (3)	3 (100%)	2 (67%)	3 (100%)	3 (100%)	-	3 (100%)
<i>S. caprae</i> (2)	2 (100%)	2 (100%)	2 (100%)	-	1 (50%)	2 (100%)
Total (163)	103 (63%)	137 (84%)	153 (94%)	114 (70%)	93 (57%)	146 (90%)
<i>E. faecalis</i> (24)	13 (54%)	24 (100%)	24 (100%)	-	9 (38%)	-
<i>E. avium</i> (13)	9 (69%)	11 (85%)	13 (100%)	1 (8%)	1 (8%)	-
<i>E. solitarius</i> (6)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	1 (17%)	4 (68%)	-
<i>E. gallinarium</i> (4)	3 (75%)	3 (75%)	4 (100%)	-	2 (50%)	-
<i>E. casseliflavus</i> (3)	-	3 (100%)	2 (67%)	-	3 (100%)	-
<i>E. maladoratus</i> (1)	-	-	-	-	-	-
<i>E. flavescens</i> (1)	-	-	-	-	-	-
Total (52)	30 (58%)	47 (90%)	49 (94%)	2 (4%)	19 (37%)	-

Microorganisms in food are known to form biofilms on the surface of many equipments in food and food processing plants. Foods such as fish, meat, and poultry can be contaminated with biofilm-forming bacteria through contact with contaminated surfaces [3]. In our study, the rate of CRA and MP methods positiveness was for CPS 100 % and 83.3 %, for CNS 81.3 % and 95.7 %, respectively. The incidence of slime-producing *S. aureus* strains (100 %) in the present study was higher than the values of 5.1 % reported by Citak et al. [27], 37.2 % by Ciftci et al. [28], 53 % by Gundogan et al [11], and 70.8 % by Gundogan et al. [10]. In this study, 43.3 % and 9.5 % of *Staphylococcus* isolates were classified as moderate and strong biofilm producers, respectively (data not shown). Gundogan et al. [10] found in their study in 2012 that 39% and 18.3% of *Staphylococcus* isolates produced moderate and strong biofilms, respectively. Biofilm formation (94.2 %) and slime formation (90.3 %) were also found in *Enterococcus* spp. According to our results, 50.0 % and 23.1 % of *Enterococcus* isolates were

moderate and strong biofilm producers, respectively (data not shown). Likewise, Necidová et al. [29] showed that 33% of *E. faecium* and 28 % of *E. faecalis* isolates isolated from raw milk and cream samples were positive for biofilm production. In contrast, Gundogan et al. [11] reported that biofilm production by the MP method was not detected in *Enterococcus* isolates. These findings are not consistent with the results of our study. However, some studies have shown that the nutrient content of the growth medium affects slime/biofilm formation [11]. However, it is very important to effectively implement hygiene protocols in fish markets to prevent contamination of fish products and prevent biofilm formation.

Microbial deterioration of fish results from various enzyme activities of microorganisms, resulting in products unsuitable for consumption. Apart from endogenous proteases, several microorganisms growing on muscle secrete a wide variety of enzyme, particularly protease. Storing foods at inappropriate temperatures causes quality and shelf life problems [30]. In our

study, it is important to note that all of the CPS and 49.6 % of the CNS displayed proteolytic activity under psychrotrophic conditions. Lipolytic activity of CPS (100 %) and CNS (87.8 %) were also high incidences. The fact that 36.5% of isolated *Enterococcus* spp. in our study showed proteolytic activity at +20°C, supports the knowledge that these bacteria play an important role in the proteolysis of foods. In our study, lipolytic activity could not be determined in any of the *Enterococcus* isolates. Many studies have been conducted to investigate protease and lipase production by enterococci and staphylococci, and it has been found that these bacteria have high levels of protease and lipase activities when grown in meat and dairy products [10], [11]. Peter et al. [13] also revealed that the frequent occurrence of protease and lipase production among enterococci from water and clinical isolates.

DNase is a virulence enzyme that breaks down DNA. In the present study, the rate of the DNase positiveness was 62.5 % for CPS, 63.3 % for CNS and 84.6 % for *S. aureus*. Citak et al. [27] showed that 93.6 % of *S. aureus* isolates isolated from raw milk had DNase activity while Batish et al. [31] reported an incidence of 36 %. We found that 57.7 % of *Enterococcus* spp. had also DNase activity. The prevalence of DNase-producing *E. faecalis* strains (54.2 %) in this study was much higher than those obtained from other studies [11]. Researchers indicated that only 5 % of *E. faecalis* strains had DNase activity. On the other hand, Barbosa et al. [9] and Peter et al. [13] reported that enterococci with DNase enzyme were not found in food and clinical samples.

There are several studies stating that hemolysin producing staphylococci and enterococci were shown to be virulent in animal and human infections, and were associated with increased severity of infection [12]. In the present study, it was determined that 87.5 % of CPS and 66.9 % of CNS have beta hemolysis. These values were similar to the rates of 100 % reported by Ebrahimi and Akhavan [32] but higher than the rates of 75 % reported by Gundogan et al. [10], 58.9 % by Turkyilmaz and Kaya [33] and 40 % by Gundogan et al. [11]. Furthermore, the incidence of hemolysin production among *S. aureus* isolates (100 %) in our study seems to be much higher than that reported for clinical strains by Ali-Vehmas et al. [34] (24 %). In this study, hemolysis was observed in only 6.7 % of *E. avium* and 16.7 % of *E. solitarius* isolates. More recently, hemolysis was reported in 7 % *E. faecalis* and 13 % *E. faecium* isolated from meat and meat products [11]. Many studies have shown that enterococcal isolates isolated from foods had lower hemolytic activity compared to the human clinical isolates. Ike et al. [12] reported that 60 % and 17 %, of *E. faecalis* isolates isolated from clinical and nonclinical sources, respectively, exhibited hemolytic activity. Peter et al. [13] studied the virulence factors in enterococci isolates from water, chicken and human clinical specimens. They indicated that β -hemolysis was significantly higher in clinical isolates than in other sources.

4. Conclusions and Recommendations

This study confirmed the presence of virulent staphylococci and enterococci in raw fish and emphasize the need for urgent action by the regulatory agencies to improve the hygiene status of retail fish markets in Turkey. Our results also highlight the presence of staphylococci and enterococci in fish that consumed undercooked may pose a health risk, particularly for susceptible populations.

5. Acknowledge

There is no Acknowledgment.

References

- [1] Anonymous (2011) Fishery Statistics, Fisheries economy, production, amount and value exchanges (in Turkish), No: 10863, State Institute of Statistics Prime Ministry of Turkey Ankara.
- [2] Fonnesebech Vogel, B., Huss, H. H., Ojeniyi, B., Ahrens, P., and Gram, L. (2001). Elucidation of *Listeria monocytogenes* contamination routes in cold-smoked salmon processing plants detected by DNA-based typing methods. *Applied and environmental microbiology*, 67(6), 2586-2595.
- [3] Sudheesh, P. S., Al-Ghabshi, A., Al-Aboudi, N., Al-Gharabi, S., & Al-Khadhuri, H. (2013). Evaluation of food contact surface contamination and the presence of pathogenic bacteria in seafood retail outlets in the sultanate of oman. *Adv. J. Food Sci.*, 5, 77.
- [4] Hammad, A. M., Shimamoto, T., & Shimamoto, T. (2014). Genetic characterization of antibiotic resistance and virulence factors in *Enterococcus* spp. from Japanese retail ready-to-eat raw fish. *Food microbiology*, 38, 62-66.
- [5] Simon, S. S., and Sanjeev, S. (2007). Prevalence of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in fishery products and fish processing factory workers. *Food control*, 18(12), 1565-1568.
- [6] Červenka, L., Brožková, I., and Vyřasová, J. (2006). Effects of the principal ingredients of biscuits upon water activity. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(1), 39-43.
- [7] Vasudevan, P., Nair, M. K. M., Annamalai, T., & Venkitanarayanan, K. S. (2003). Phenotypic and genotypic characterization of bovine mastitis isolates of *Staphylococcus aureus* for biofilm formation. *Veterinary microbiology*, 92(1-2), 179-185.
- [8] Hammad, A. M., Watanabe, W., Fujii, T., & Shimamoto, T. (2012). Occurrence and characteristics of methicillin-resistant and-susceptible *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant coagulase-negative staphylococci from Japanese retail ready-to-eat raw fish. *International journal of food microbiology*, 156(3), 286-289.
- [9] Barbosa, J., Gibbs, P. A., & Teixeira, P. (2010). Virulence factors among enterococci isolated from traditional fermented meat products produced in the North of Portugal. *Food Control*, 21(5), 651-656.
- [10] Gundogan, N., Ataol, Ö., & Gunal, S. (2012). Determination of some virulence factors in staphylococci isolated from milk and meat products. Bestimmung von Virulenzfaktoren aus Staphylokokken-Isolaten von Milch-und Fleischprodukten. *Archiv für Lebensmittelhygiene*, 5(6), 182-186.
- [11] Gundogan, N., Ataol, O., & Torlak, F. O. (2013). Determination of Some Virulence Factors in *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* Isolated from Meat and Milk Products. *Journal of Food Safety*, 33(4), 387-393.
- [12] Ike, Y., Hashimoto, H., and Clewell, D. B. (1987). High incidence of hemolysin production by *Enterococcus* (*Streptococcus*) *faecalis* strains associated with human parenteral infections. *Journal of clinical Microbiology*, 25(8), 1524-1528.

- [13] Asha, P., Jyothis, M., & Shini, Z. (2013). A comparative study of virulence factors in enterococci from clinical and nonclinical sources. *J. Pharm. Biomed. Sci*, 29, 745-752.
- [14] Quinn, P. J., Carter, M. E., Markey, B., & Carter, G. R. (1994). Veterinary clinical microbiology. *Wolfe Publication, London, UK*, 254-258.
- [15] Christensen, G. D., Simpson, W. A., Younger, J. J., Baddour, L. M., Barrett, F. F., Melton, D. M., & Beachey, E. H. (1985). Adherence of coagulase-negative staphylococci to plastic tissue culture plates: a quantitative model for the adherence of staphylococci to medical devices. *Journal of clinical microbiology*, 22(6), 996-1006.
- [16] Saising, J., Singdam, S., Ongsakul, M., & Voravuthikunchai, S. P. (2012). Lipase, protease, and biofilm as the major virulence factors in staphylococci isolated from acne lesions. *Bioscience trends*, 6(4), 160-164.
- [17] Mhango, M., Mpuchane, S. F., & Mpuchane, B. A. (2010). Incidence of indicator organisms, opportunistic and pathogenic bacteria in fish. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10(10).
- [18] Boari, C. A., Pereira, G. I., Valeriano, C., Silva, B. C., Morais, V. M. D., Figueiredo, H. C. P., & Piccoli, R. H. (2008). Bacterial ecology of tilapia fresh fillets and some factors that can influence their microbial quality. *Food Science and Technology*, 28, 863-867.
- [19] Himelbloom, B. H., & Crapo, C. A. (1998). Factors Influencing the Microbial Quality of Cold-Smoked Salmon Strips. *Journal of food science*, 63(2), 356-358.
- [20] Grigoryan, E., Badalyan, G., & Andriasyan, D. (2010). Prevalence of Staphylococcus aureus in fish processing factory. *Potravinárstvo (Slovak Republic)*.
- [21] Suzuki, Y., Kanda, N., & Furukawa, T. (2012). Abundance of Enterococcus species, Enterococcus faecalis and Enterococcus faecium, essential indicators of fecal pollution, in river water. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(11), 1500-1505.
- [22] Cariolato, D., Andrighetto, C., & Lombardi, A. (2008). Occurrence of virulence factors and antibiotic resistances in Enterococcus faecalis and Enterococcus faecium collected from dairy and human samples in North Italy. *Food Control*, 19(9), 886-892.
- [23] Kimiran-Erdem, A., Arslan, E. O., Yurudu, N. O. S., Zeybek, Z., Dogruoz, N., & Cotuk, A. (2007). Isolation and identification of enterococci from seawater samples: assessment of their resistance to antibiotics and heavy metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125(1), 219-228.
- [24] Al Bulushi, I. M., Poole, S. E., Barlow, R., Deeth, H. C., & Dykes, G. A. (2010). Speciation of Gram-positive bacteria in fresh and ambient-stored sub-tropical marine fish. *International Journal of Food Microbiology*, 138(1-2), 32-38.
- [25] Valenzuela, A. S., Benomar, N., Abriouel, H., Cañamero, M. M., & Gálvez, A. (2010). Isolation and identification of Enterococcus faecium from seafoods: antimicrobial resistance and production of bacteriocin-like substances. *Food microbiology*, 27(7), 955-961.
- [26] Mol, S., & Sağlam, Ö. E. (2004). Investigating seafood marketing conditions in some important Turkish seafood markets in comparison with European countries. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 4(2).
- [27] Çıtak, S., Varlık, Ö., & Gündoğan, N. (2003). Slime production and DNase activity of staphylococci isolated from raw milk. *Journal of food safety*, 23(4), 281-288.
- [28] Ciftci, A., Findik, A., Onuk, E. E., & Savasan, S. (2009). Detection of methicillin resistance and slime factor production of Staphylococcus aureus in bovine mastitis. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40, 254-261.
- [29] Necidová, L., Janštová, B., Karpíšková, S., Cupáková, Š., Dušková, M., & Karpíšková, R. (2009). Importance of Enterococcus spp. for forming a biofilm. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(Special Issue 1).
- [30] Masniyom, P. (2011). Deterioration and shelf-life extension of fish and fishery products by modified atmosphere packaging. *Sonklanakarın Journal of Science and Technology*, 33(2), 181.
- [31] Batish, V. K., Chander, H., & Ranganathan, B. (1984). Prevalence of enterococci in frozen dairy products and their pathogenicity. *Food Microbiology*, 1(4), 269-276.
- [32] Ebrahimi, A., & Akhavan, T. M. (2009). Characteristics of staphylococci isolated from clinical and subclinical mastitis cows in Shahrekord, Iran. *Iranian Journal Of Veterinary Research*, 10, (3), 273-277.
- [33] Türkyilmaz, S., & Kaya, O. (2006). Determination of some virulence factors in Staphylococcus spp. isolated from various clinical samples. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 30(1), 127-132.
- [34] Ali-Vehmas, T., Vikerpuur, M., Pyörälä, S., & Atroshi, F. (2001). Characterization of hemolytic activity of Staphylococcus aureus strains isolated from bovine mastitic milk. *Microbiological research*, 155(4), 339-344.



Bir Üretim İşletmesinde Simülasyon Yöntemi ile Darboğaz Analizi ve Sistem İyileştirmesi

Ege Cihangir¹, Fatma Demircan Keskin^{2*}, Ural Gökay Çiçekli³, Gökhan Yakan⁴

¹ Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2294-1122), egecihangirr@gmail.com

^{2*} Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7000-4731), fatma.demircan.keskin@ege.edu.tr

³ Ege Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6032-9540), gokay.cicekli@ege.edu.tr

⁴ Volt Elektrik Motorları, İzmir, Türkiye, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6619-3138), gokhan.yakan@voltmotor.com.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012214)

ATIF/REFERENCE: Cihangir, E., Demircan Keskin, F., Çiçekli, U.G. & Yakan, G. (2021). Bir Üretim İşletmesinde Simülasyon Yöntemi ile Darboğaz Analizi ve Sistem İyileştirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 917-923.

Öz

Üretim süreçlerinde iyileştirmelerin yapılabilmesi ve performans artışının sağlanabilmesi için sistemin mevcut durumunun gerçek süreç verileriyle ortaya konması ve süreçte aksaklık yaratan noktaların tespit edilebilmesi gerekmektedir. Üretim sistemlerinde mevcut durumun analiz edilmesi, darboğazların belirlenmesi, çıktı miktarı ve kaynak kullanımını iyileştirecek önerilerin ortaya konması ve değerlendirilebilmesinde simülasyon sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Bu çalışmada elektrik motoru üreten bir firmanın bir stator yarı mamul üretim hattının, AnyLogic yazılımı kullanılarak kesikli olay simülasyon modeli geliştirilmiştir. Ele alınan hatta 8 makine ve 11 operatör kaynağı kullanılarak akış tipi üretim gerçekleştirilmektedir. Model ile darboğaz belirleme ve hatta kaynak kullanım oranlarını maksimize eden ve stok maliyetlerini minimize eden akışın oluşturulması amaçlanmaktadır. Model parametreleri, hatta ilişkin geçmiş bir yıllık veriler kullanılarak yapılan girdi analizi ile hazırlanmıştır. Simülasyon modelinin çalıştırılması ile mevcut durum analiz edilmiştir. Bulgular, hatta yer alan sarım makinesinin darboğaz olduğuna işaret etmektedir. Sistem performansını iyileştirmek için, hattın verimliliği ve kaynakların kullanım oranlarına odaklanılarak, sarım makinesinin ideal üretim miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, hat için yeni bir yerleşim önerisinde bulunularak bu önerinin operatör kullanım oranına katkısı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesikli olay simülasyonu, AnyLogic, Darboğaz analizi, Kaynak kullanımı, Çıktı miktarı, Sistem iyileştirme.

Bottleneck Analysis and System Improvement with Simulation Method in a Manufacturing Facility

Abstract

Achieving improvements in production processes requires analyzing the processes and identifying bottlenecks based on actual process data. Simulation is a widely applied method in analyzing the current state of production systems, identifying bottlenecks, developing alternative scenarios to improve throughput and resource utilization, and evaluating these scenarios' performances. In this study, a discrete event simulation model of a stator production line of a company that produces electrical motors has been developed using AnyLogic software. The analyzed production line is a flow-type production line that consists of 8 machines and 11 operators. This study aims to detect the bottlenecks and determine a flow that maximizes resource utilization rates and minimizes inventory holding costs. The model parameters have been prepared with input analysis using the actual data from the past year of the line. The current state of the line revealed by running the simulation model has been analyzed. The findings have indicated that the winding machine is the bottleneck of the production line. The ideal production quantity of the winding machine has been determined by focusing on the productivity of the line and the utilization rates of resources to improve the system performance. Moreover, an alternative layout for the line has been suggested. Finally, the projected gains with this layout have been evaluated in terms of operator utilization rate.

Keywords: Discrete event simulation, AnyLogic, Bottleneck analysis, Resource utilization, Throughput, Process improvement.

* Sorumlu Yazar: fatma.demircan.keskin@ege.edu.tr

1. Giriş

Üretim sistemleri, mekanik üretim sistemlerinin ortaya çıktığı birinci sanayi devriminden günümüze gelinceye kadar evrimsel değişimlere uğramıştır. Günümüzde, özellikle siber fiziksel sistemler ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin gelişmesi ve imalat sistemlerine entegre olması ile Endüstri 4.0 olarak adlandırılan üretim anlayışın temeli atılmıştır [1]. Bu anlayış üretim sistemlerinin, atölye düzeyinden çekilen verilere dayalı olarak kararlar almasını, değişen koşullara hızlı adapte olunmasını ve yüksek düzey esnekliği gerektirmektedir [2]. Bunun için üretim sistemlerinden elde edilen çıktı miktarını, maliyeti minimum düzeyde tutarak geliştirebilmek büyük önem taşımaktadır [3].

Üretim yönetiminde en kritik noktalardan biri, bir üretim sistemi içinde aksaklık yaratan faktörleri belirleyip onları ortadan kaldırmak için doğru kararları alarak sistem performansını artırabilmektir [4]. Bir sistemin kısıtlarını belirlemeyi ve amaca olan etkilerine göre en önemli kısıtlardan başlanarak yapılacak iyileştirmelerin sistemin performansını önemli düzeyde artırılabilceğini ifade eden Kısıtlar Teorisi [5], bu noktada önemli bir yol göstericidir.

Bir sistemdeki tıkanıklık noktasını ifade eden darboğaz, içinde bulunduğu sistemin daha fazla çıktı elde etmesini engellemekte ve sistemin kapasitesini kısıtlamaktadır [6]. Literatürde çok sayıda farklı tanımlı bulunan darboğaz, genel sistem performansı üzerinde, azaltıcı etkisi en yüksek olan makine ya da kaynak olarak tanımlanabilmektedir [7].

Bir üretim hattında darboğazları belirleyip, bu nokta ya da noktalarda iyileştirmeler yapmak tüm sistemin performansını önemli bir düzeyde iyileştirebileceği için oldukça büyük önem taşımaktadır. Literatürde darboğaz belirleme, çıktı miktarını ve kaynakların kullanım oranlarını artırma gibi amaçlara yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda simülasyon tabanlı yöntemler ön plana çıkmaktadır ([8]-[10]).

Bu çalışmada, elektrik motoru üreten bir firmanın stator yarı mamul üretim hatlarından birinin kesikli olay simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modeli ile hattın darboğazının belirlenmesi ve hatta kaynak kullanım oranlarını maksimize eden ve stok maliyetlerini minimize eden akışın oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, ele alınan hatta ilişkin geçmiş bir yıllık veri kullanılarak yapılan girdi analizi ile model parametreleri hazırlanmış ve simülasyon modeli oluşturularak mevcut durum ortaya konmuştur. Mevcut durum analizi sonrası ele alınan hat için bir yerleşim önerisinde bulunulmuş ve bu önerinin operatör kullanım oranına katkısı değerlendirilmiştir. Çalışmanın bir sonraki bölümünde, bu çalışmanın amacıyla örtüşen ve simülasyon uygulaması yapan geçmiş çalışmalar sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, ele alınan probleme ve geliştirilen simülasyon modeline ilişkin tüm detaylara yer verilmektedir. Modelin çalıştırılması ile elde edilen bulgular ve sürece ilişkin iyileştirme önerisi dördüncü bölümde sunulmaktadır. Çalışma, elde edilen sonuçlara ilişkin değerlendirmeler ile sonlandırılmaktadır.

2. Önceki Çalışmalar

Literatürde, üretim sistemlerinde çeşitli performans ölçütlerine odaklanarak süreç iyileştirmeyi amaçlayan birçok çalışmada simülasyon tabanlı yaklaşımlar uygulanmıştır. [11] geleneksel üretim anlayışını uygulayan bir imalat işletmesinde, yalın üretim uygulamalarının üretimin akışına ve yarı mamul stok miktarına etkilerinin ne olacağını değerlendirebilmek için simülasyondan yararlanılmışlardır. [12] bir firmanın bobinaj üretim sürecinde verimliliği artırmak amacıyla iş etüdü ve zaman etüdü çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında bobinaj üretim sürecinin çevrim süresini belirleyip, bu süreyi düşürmek için hattın yerleşiminde ve süreçte çeşitli iyileştirme önerilerinde bulunmuşlardır. Mevcut durum ve önerilen durumun performansını analiz etmişlerdir.

Bu çalışmada da kullanılan AnyLogic yazılımını, imalat süreçlerinin simüle edilmesinde uygulayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. [13] bir üretim hattını, hatta ilişkin bir yıllık geçmiş veriyi kullanarak kesikli olay simülasyonu ile modellemişlerdir. Mevcut durum analizini takiben, tespit edilen darboğazları ortadan kaldırmaya ve elde edilen çıktı miktarını artırmaya yönelik çeşitli iyileştirme senaryoları önermişlerdir. [14] elektrik motoru fren diskleri için plaka üreten bir firmanın bir üretim çevrimini simüle etmişlerdir. Mevcut durum ile hatta eklenmesini önerdikleri konveyörün yerleştirilmesi durumunda üretim miktarı ve yarı mamul stok miktarının nasıl değişeceğini geliştirdikleri simülasyon modelini çalıştırarak karşılaştırmışlardır. [15] çeşitli montaj hattı konfigürasyonlarının denge durumundaki etkinlik seviyelerini, davranışsal ve yorgunluk ile ilgili birtakım faktörlerin etkisini de göz önünde bulundurarak simülasyon uygulaması ile karşılaştırmışlardır. [16] işlenmiş ahşap ürünler üreten bir işletmede, üretim sürecinin mevcut durumunu analiz etmek ve yerleşimde ve operatör atamalarında yapılabilecek değişikliklerin çıktı miktarı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için AnyLogic yazılımını kullanarak bir kesikli olay simülasyon modeli geliştirmişlerdir. AnyLogic yazılımını kullanan bir diğer çalışmada [17] bir hassas imalat firmasının otomatik depolama ve boşaltma sistemlerine yatırım yapması durumunda çıktı performansının ne düzeyde olacağını, etmen tabanlı modelleme ve kesikli olay simülasyonunun birlikte kullanarak modellemişlerdir. Başka bir çalışmada ise, [18] bir yarıiletken plaka üretim fabrikasının ön montaj sürecini, mevcut durumda uygulanan üretim partilerini serbest bırakma politikalarını analiz etmek ve süreci iyileştirmek amacıyla ele almışlardır. Çalışmalarında gerçek süreç verilerine dayalı olarak geliştirdikleri simülasyon modeli ile mevcut durumu analiz etmişler, kaynak kullanım oranı, çıktı miktarı ve zamanında teslimat oranında önemli iyileştirmeler sağlayan öneriler ortaya koymuşlardır.

3. Simülasyon Modeli

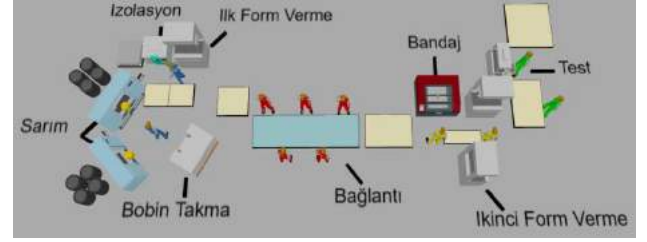
Simülasyon mevcut ya da planlanan bir sistemin performansını tahmin etmek ve belirli bir problemin alternatif çözümlerini karşılaştırmak için kullanılabilir. Bu çalışmada, AnyLogic yazılımı kullanarak bir üretim hattının kesikli olay simülasyonu gerçekleştirilmiştir. AnyLogic, kesikli olay simülasyonu, etmen tabanlı simülasyon ve sistem dinamiği gibi çeşitli simülasyon yöntemlerini barındıran, çok yönlü bir simülasyon yazılımıdır [19]. AnyLogic çeşitli uygulamalar için oldukça esnek bir modelleme ortamı

sunmaktadır. Kesikli olay simülasyon tekniği, karmaşık üretim sistemlerinin modellenmesi için çok uygundur [20]. Bu sebeple, bu çalışmada kesikli olay simülasyon aracı olarak AnyLogic kullanılmıştır.

2.1. Model Açıklaması

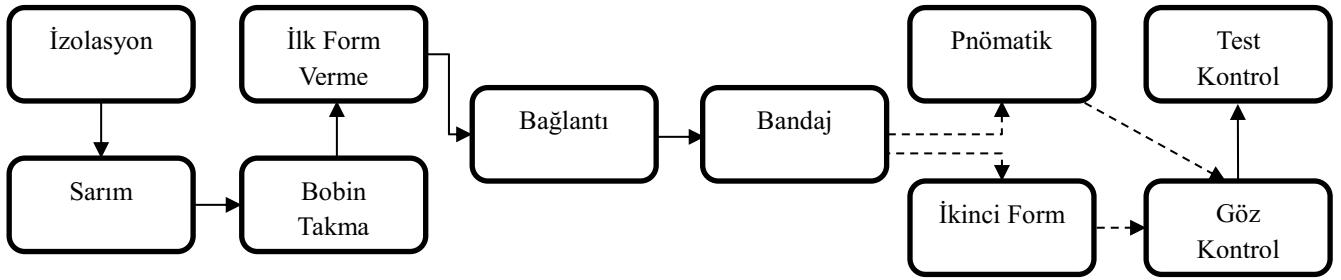
Elektrik motoru üreten bir fabrikada gerçekleştirilen uygulama, stator yarı mamulünün üretildiği bir üretim hattının simülasyonunu kapsamaktadır. Oluşturulan simülasyon modeli, gerçek dünyanın stokastik yapısını gösteren verilere dayanmaktadır. Üretim sisteminin sınırlarını, neden-sonuç ilişkilerini ve kısıtlarını içermektedir.

Akış tipi üretimin gerçekleştiği hatta, 8 adet makine, 11 adet operatör kaynağı bulunmaktadır. Simülasyon modelinin üç boyutlu görseli Şekil 1’de gösterilmiştir:



Şekil 1. Modelin üç boyutlu gösterimi

Ürünün iş istasyonlarında takip ettiği sıra da Şekil 2’de paylaşılmıştır:



Şekil 2. Ürünün iş istasyonları arası akışı

Bir önceki süreçten gelen statorlar, izolasyonun önüne getirilir. İzolasyon operasyonu gerçekleştirilen stator ile, sarım istasyonunda transfer şişlerine sarılan bobin telleri, bobin takma operasyonunda birleştirilmektedir. İlk form verme sonrası bağlantı operasyonu yapılmaktadır (sırasıyla bağlantı 1,2,3,4 ve 5). Daha sonra bandajlama yapılır ve ürünün türüne göre pnömatik form verme ya da ikinci form vermeye yönlendirilir. Ardından göz kontrol ve test kontrol yapılır ve hattın üretimi tamamlanır.

2.2. Model Parametreleri

Kurgusu tamamlanan modele ait parametreler bu bölümde anlatılmıştır.

Amaç: Üretim hattında yer alan kaynakların üretim hızları değişkenlik göstermektedir. Bu durum, bazı kaynakların kullanım oranlarının düşük olmasına, bazı kaynakların da önünde stok birikmesine sebebiyet vermektedir. Simülasyonla, üretim hattında darboğaz analizi gerçekleştirilerek, kaynak kullanım oranlarını maksimize eden ve stok maliyetini minimize eden akışın oluşturulması hedeflenmiştir.

Üretim yöneticileri sarım makinesini hat darboğazı olarak gözlemlemiş, hattaki diğer kaynakları günde 2 vardiya çalıştırırken, sarım makinesini 3 vardiya çalıştırma kararı almışlardır. Ancak bu karar, 3. vardiya çalışan sarım makinesinin ne kadar üretim yapması gerektiği ile ilgili net değildir. Belli bir miktarın üzerinde üretim yapması stok maliyetine yol açacak, belli bir miktarın altında gerçekleştirilen üretim de sonraki makine ve insan kaynağının kullanım oranlarının düşmesine sebep olacaktır.

Veriler: 1 aylık üretim planının, stok kodu bazında talep miktarları modele eklenmiştir.

	urun_kodu	urun_aciklamasi	program_adet
1	VM11	0,75 kW 4P MON 9...	501
2	VM12	0,55 kW 4P MON 9...	3,084
3	VM13	1,1 kW 4P MON 90...	60
4	VM14	1,1 kW 4P MON 90...	558
5	VM15	1,1 kW 2P TRF 80 K...	63
6	VM16	0,18 kW 2P TRF 63 ...	11
7	VM17	0,25 kW 2P TRF 63 ...	140
8	VM18	0,18 kW 4P MON 63	100
9	VM19	0,12 kW 4P TRF 63 ...	95
10	VM20	0,18 kW 4P TRF 63 ...	75

Şekil 3. Modele eklenen üretim planından bir kesit

Gerçek hayatın stokastik doğasını modele yansıtabilme adına geçmiş bir yılın verileri kullanılmıştır. İş merkezlerine ait operasyon süreleri, makinelerin arıza olasılıkları ve tamir süreleri, ürünler arası geçişlerdeki makine hazırlık süreleri gibi parametreler olasılık dağılımları ile modele entegre edilmiştir. Bunun için Arena yazılımının Input Analyzer aracı kullanılmıştır. Örnek olması adına, aşağıdaki tablolarda bazı süreler, arıza zamanları ve tekrarları ile tezgah hazırlık zamanları olasılık dağılımlarıyla paylaşılmıştır.

Tablo 1. Sarım operasyonu süre dağılımı

	Bobin Sarım
63	53 + WEIB (32.8, 2.4)
71	40 + LOGN (34.2, 24.6)
80	32 + ERLA (6.87, 6)
90	42 + GAMM (16.5, 2.06)
100	48 + GAMM (15.5, 2.31)
112	58 + LOGN (44.6, 37.6)
132	65 + WEIB (47.9, 1.58)

Tablo 2. Bazı tezgahlardaki arıza süreleri ve tekrar sıklıkları

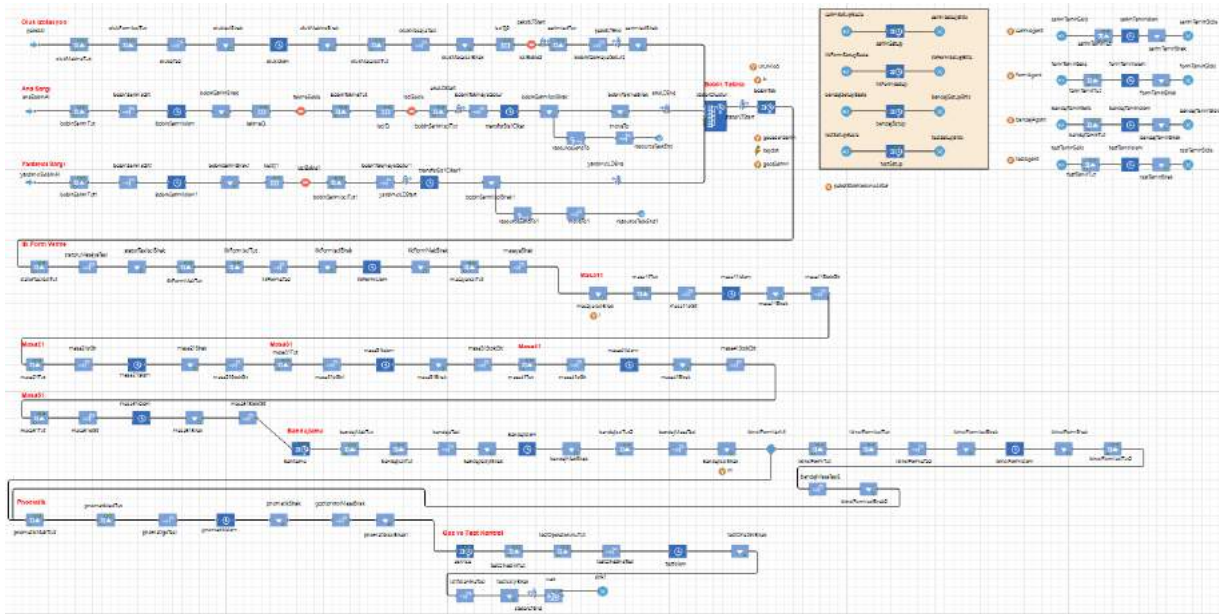
	Arıza süresi	Tekrar Sayısı (gün)
Sarım	17 + WEIB(140, 1.87)	uniform_discr(1, 12)
İlk Form Verme	LOGN(36.5, 47.9)	uniform_discr(1, 5)
Bandaj	WEIB(47.7, 1.35)	uniform_discr(1, 10)
İkinci Form Verme	396 * BETA(0.778, 2.68)	uniform_discr(1, 5)
Test	GAMM(10.1, 2.69)	uniform_discr(1, 5)

Tablo 3. Bazı tezgahlardaki tezgah hazırlık süreleri

	Tezgah hazırlık
Sarım	10 + ERLA(11.6, 2)
İlk Form Verme	11 + LOGN(30, 34.6)
Bandaj	2 + LOGN(7.75, 8.04)
İkinci Form Verme	6 + EXPO (24.9)
Test	4 + GAMM(2.33, 2.39)

2.3. Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğinin Test Edilmesi

Oluşturulan kesikli olay simülasyonunun AnyLogic yazılımındaki görüntüsü Şekil 4'teki gibidir.

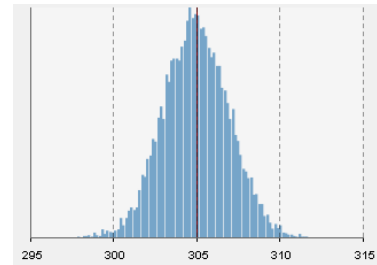


Şekil 4. AnyLogic ortamı

Simülasyon modelinin gerçek üretim hattını aynı şekilde yansıttığını ispat etme amacıyla doğrulama (verification) yapılmıştır. Modelde yer alan statorların (agent'ların), source bloğu ile yaratılıp sink bloğu ile yok edilmesi sürecindeki tüm akış, debug penceresiyle adım adım izlenmiştir. Agent'ların üretim hattındaki gerekli tüm adımlardan sırasıyla geçtikleri gözlemlenmiştir. Buradan, üretim hattının doğrulandığı sonucuna varılmıştır.

Modelden elde edilen çıktılarının gerçek üretim hattına ait çıktılar ile kıyaslanmasının yapıldığı aşama ise geçerlilik (validation) aşamasıdır. Modelin geçerliliği için %95 güven düzeyinde güven aralığı testi kullanılmıştır. Simülasyonun ve gerçek üretim hattının performans ölçülerinin yeterince yakın olup olmadığını değerlendirmek için güven aralığı testi uygulanır. Üretimde yapılan saha çalışması sonucunda bir vardiyada (440 dakika) 305 adet stator üretildiği kaydedilmiştir. Gözlemlenen bu değeri simülasyon çıktısı ile karşılaştırmak için stator üretim hattının simülasyon modeli 10 kez tekrarlanmış %95 güven düzeyinde güven aralığı tahmin edilmiştir. Şekil 5'te de gösterildiği gibi, bu güven aralığı gözlemlenen günlük üretimi kapsadığından,

simülasyon modelinin gerçek üretim sistemini %95 güven düzeyinde temsil ettiğini söylemek mümkündür.

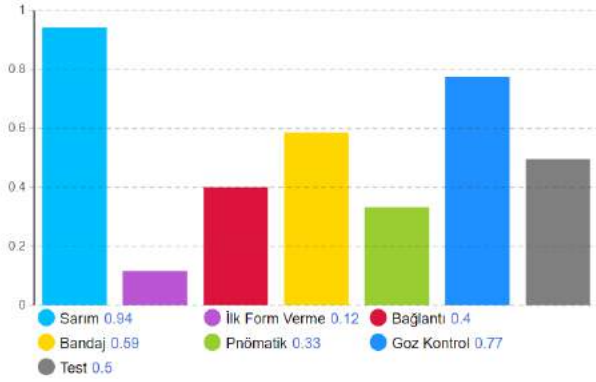


Şekil 5. %95 güven aralığında vardiyalık üretim miktarı

4. Modelin Çalıştırılması ve Bulgular

Üretim hattındaki sarım makinesinin darboğaz olduğu doğrulanmış olup, Şekil 6'da gösterilmiştir. Sarım tezgahında yaşanan arıza sıklığının ve tamir sürelerinin uzun sürmesi, makinenin darboğaz olmasına neden olmuştur. Buna ek

olarak ürünler arası geçişlerdeki tezgah hazırlık zamanları da uzundur.



Şekil 6. Kaynak kullanım oranları

Simülasyon modeli, sarım makinesinin 3 vardiya ve diğer kaynakların 2 vardiya çalıştığı bir düzende aylık üretim planını gerçekleştirmiştir. Üretim planına uyum sağlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, sarım makinesinin 3. vardiya üretim miktarının, özellikle bağlantıda çalışan operatörlerin kaynak kullanım oranına etkisi incelenmiştir. Çünkü bağlantıda çalışan operatörler, makinelerin sahip olduğu herhangi bir arıza ya da ürün değişimi gibi plansız duruşlara sahip değildir. Akış tipi üretim söz konusu olduğu için de, ürün, bağlantıdan bir sonraki sürece aktarılmadığında hat verimsiz olabilmektedir.

Sarımın bir vardiya fazla çalışarak gerçekleştirdiği ortalama üretim sayısı ile, bağlantı istasyonu önündeki ortalama stok miktarı da sistemin performansı için önemli bir ölçüttür. İlk 2 vardiya içerisinde bağlantı operatörleri, gecedan sarılan ürünleri tüketirken, sarım makinesi stoka üretim yapıyormuş gibi akış devam etmektedir. Ancak bazı durumlarda bağlantı istasyonunun önündeki ürünler tamamlanıp sarım makinesi ile senkronize olurken, bazı durumlarda da arada belli bir miktarda stok olabilmektedir. İki durum da işletmenin istemediği bir durumdur. Burada önemli husus iki parametrenin başa baş noktasını bularak sistemi iyileştirmektir. Tablo 4'te üretim planındaki 17 ürünün üretimine ait performans göstergeleri paylaşılmış

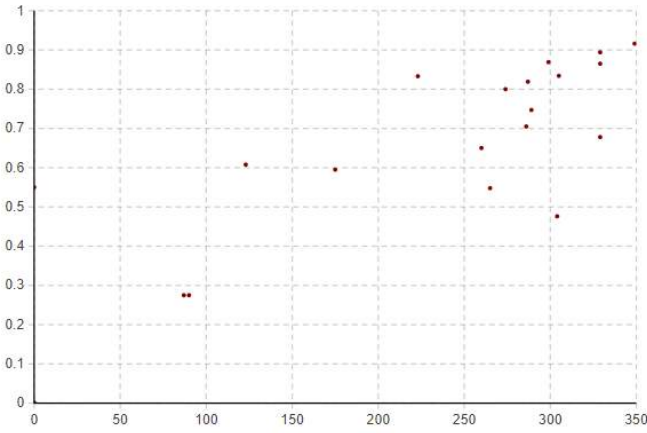
Tablo 4. Modelin performans göstergeleri

Stok Kodları	Adet	Sarımın 3. vardiya üretimi	Bağlantı öncesi stok miktarı	İlk Form Verme							Sarım Arıza	Sarım Arıza Süre (dk)
				Sarım	Bağlantı	Bandaj	Pnömatik	Göz Kontrol	Test Kontrol			
VM11	501	0	0	91%	13%	64%	52%	30%	70%	44%	2	16,36
VM12	3084	230	151	90%	13%	95%	68%	36%	85%	54%	18	17,54
VM13	60	231	152	90%	13%	95%	69%	36%	85%	55%	0	0
VM14	558	231	144	90%	14%	85%	69%	36%	85%	54%	3	16,99
VM15	63	237	142	89%	15%	93%	69%	35%	84%	54%	1	16,48
VM16	11	237	142	89%	15%	93%	69%	35%	83%	54%	0	0
VM17	140	237	142	90%	16%	94%	69%	35%	84%	54%	0	0
VM18	100	237	141	90%	15%	94%	70%	36%	83%	54%	1	16,69
VM19	95	236	140	90%	15%	94%	70%	36%	84%	54%	0	0
VM20	75	235	138	89%	15%	87%	70%	36%	84%	54%	1	18,04
VM21	1293	227	124	88%	14%	27%	65%	37%	86%	56%	10	17,88
VM22	35	227	124	88%	14%	26%	65%	37%	86%	56%	1	17,67
VM23	62	226	124	88%	14%	25%	65%	38%	86%	56%	0	0
VM24	303	211	113	88%	13%	32%	60%	35%	81%	53%	4	17,26
VM25	42	208	111	88%	13%	26%	59%	34%	79%	52%	1	17,21
VM26	61	202	108	88%	13%	93%	59%	34%	79%	52%	2	17,3
VM27	5	202	108	88%	13%	93%	59%	34%	79%	52%	2	17,3

Tablo 4 incelendiğinde;

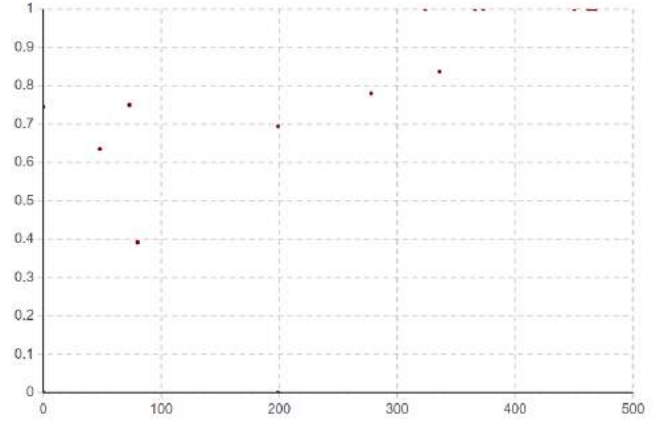
- İlk siparişe ait 501 adet üretim, bir günde, 3. vardiyaya ihtiyaç olmadan tamamlanmıştır. O siparişin tamamlanma zaman aralığına ait kaynakların kullanım oranları ile sarım makinesinin arıza sayısı ve süreleri verilmiştir. Sarım makinesi 3. vardiya çalışmadığı için özellikle bağlantının kullanım oranı düşüktür.
- 2. sipariş 6 günde tamamlanmış olup üretimi boyunca sarım makinesi gece de çalışmıştır. 6 gün boyunca sarım makinesi ortalama 230 ürünü 3. vardiya üretmiştir ve bağlantı iş merkezinin önünde ortalama 151 ürün bulunmuştur. Bu durumda, bağlantıdaki operatörlerin kullanım oranları %100'e yaklaşmıştır.
- Kırmızı ile işaretlenen sipariş gerçekleştiği sırada sarım tezgahında 10 defa arıza gerçekleşmiş (ortalama 17,88 dakika sürmüş) ve bu durum siparişin üretildiği 2 günü etkilemiştir. Bunun sonucunda da bağlantı kullanım oranı ciddi düşüş yaşamıştır. Geçmiş dönemde fazladan üretim gerçekleştirilmiş, bir başka deyişle daha fazla ara stok miktarı bulundurulmuş olsa, kaynakların kullanım oranlarının bu kadar düşmesinin önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

Bağlantı kaynaklarının ideal kullanım oranına sahip olduğu ancak stok miktarının da minimum seviyede bulunduğu bir sistemde, stok miktarının kaç olması gerektiği üzerinde deney tasarımları (experimental design) gerçekleştirilmiştir. Model değişen girdiler ile defalarca çalıştırılmış ve elde edilen çıktılar Şekil 7'de özetlenmiştir:



Şekil 7. Sarım makinesinin üretim miktarı ile bağlantının kullanım oranı ilişkisi

Şekil 7'de x eksenine gecen sarılan ürün miktarını gösterirken y eksenine ise bağlantıdaki operatörlerin kullanım oranını göstermektedir. Beklendiği gibi gecedan sarım artmaya başladığında bağlantının kullanım oranının da arttığı görülmektedir.



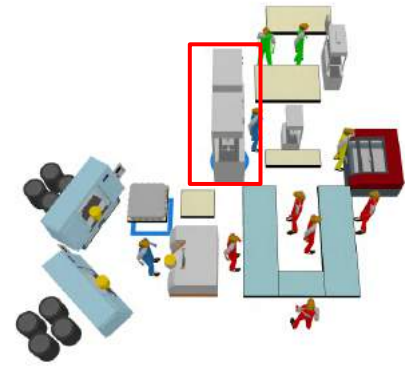
Şekil 8. İdeal üretim adedi

Yukarıdaki grafik ise farklı bir deneyde elde edilmiş olup, 3. vardiya sarım miktarının arttığı durumda, bağlantı iş merkezinin kullanım oranını yansıtmaktadır. Miktar 375'in üzerine çıktığı zaman bağlantı kullanım oranı %100'e sabitlemekte olup, bu miktardan sonra üretim gerçekleştirilmesinin bağlantı kullanım oranı üzerinde etkisinin olmadığı görülmektedir. Aksine üretilen ürünler işletmeye stok bulundurma maliyeti olarak yansımaktadır. 375 adedi de sarım makinesinin bir vardiyada çıkarabildiği simülasyonda teyit edilmiştir.

4.1. Alternatif İyileştirme Önerisi

Kaynakların kullanım oranları incelendiğinde, düşük kullanım oranına sahip başka kaynaklar da olduğu tespit edilmiştir. İlk form vermeyi yapan operatörün kullanım oranı simülasyon deneyleri sırasında hiç %20'i geçmemiştir. Benzer şekilde pnömomatik form vermeyi yapan operatörün de kullanım oranı %38 civarındadır. Model burada iyileştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir.

Bunun için hat yerleşiminde değişikliğe giderek ilk form verme ve pnömomatik makinelerine bakan operatör sayısı 2'den 1'e düşürülmüştür.



Şekil 9. Alternatif yerleşim önerisi ve operatör kazancı

Üretim adedi değişmeksizin bu yeni yerleşimle bir operatör sistemden çıkarılarak maliyet kazancı sağlanmıştır. Son durumda iki makineye bakan operatörün kullanım oranı da %48 olmuştur.

5. Sonuç

Bu çalışmada, kesikli olay simülasyonu ile elektrik motoru üreten bir firmanın stator yarı mamulünün üretildiği bir üretim hattı modellenmiştir. 8 makine ve 11 operatörün yer aldığı bu

hatta akış tipi üretim yapılmaktadır. Hatta ilişkin geçmiş bir yılın verileri kullanılmıştır. Modelde yer alan parametrelerden iş merkezlerine ait operasyon süreleri, makinelerin arıza olasılıkları ve tamir süreleri, ürünler arası geçişlerdeki makine hazırlık sürelerinin olasılık dağılımları belirlenmiş ve bu parametreler modele olasılık dağılımları ile entegre edilmiştir. Simülasyon modeli ile bir aylık üretim planı gerçekleştirilmiştir. Ele alınan bir aylık dönemde hatta üretilen ürünlerin talep miktarları da modelde kullanılmıştır. Simülasyon modelinin doğrulanması ve geçerliliğinin test edilmesinin ardından model çalıştırılmıştır. Mevcut durumun performansı, iş merkezlerinin kullanım oranları, operatörlerin kullanım oranları, bağlantı öncesi stok miktarları, sarım makinesi arıza sayıları ve arızaların süreleri açısından değerlendirilmiştir. Bulgular, hatta yer alan sarım makinesinin darboğaz olduğuna işaret etmektedir. Aynı zamanda, hattın verimliliği açısından kilit önem taşıyan bağlantı operasyonu ve o operasyonda çalışan operatörlerin kullanım oranları ile sarım makinesinin üretim miktarı arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Analiz sonucunda bağlantı kaynak kullanımını maksimize edecek sarım miktarı belirlenmiştir. Operatörlerin kaynak kullanım oranları dikkate alınarak, hat için, düşük kullanım oranına sahip operatörlerin kullanım oranlarını artırmayı hedefleyen yeni bir yerleşim önerilmiştir. Bu yerleşimde ilk form verme ve pnömatik makinelerine bakan operatör sayısı 2'den 1'e düşürülmüştür. Bu sayede hem bir operatör daha az kullanılarak maliyet düşüşü, hem de operatör kullanım oranında artış sağlanmıştır.

6. Teşekkür

Bu çalışmaya verdiği destekten dolayı Volt Elektrik Motor San. Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
- [2] Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, J., Lieder, M., Johnsson, C., Lundholm, T., & Lennartson, B. (2017). An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0. *International journal of production research*, 55(5), 1297-1311.
- [3] Lai, X., Shui, H., Ding, D., & Ni, J. (2021). Data-driven dynamic bottleneck detection in complex manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 662-675.
- [4] Pehrsson, L., Ng, A. H., & Bernedixen, J. (2016). Automatic identification of constraints and improvement actions in production systems using multi-objective optimization and post-optimality analysis. *Journal of manufacturing systems*, 39, 24-37.
- [5] Goldratt, E. M. (1990). *Theory of constraints* (pp. 1-159). Croton-on-Hudson: North River.
- [6] Leporis, M., & Králová, Z. (2010). A simulation approach to production line bottleneck analysis. In *International conference cybernetics and informatics* (pp. 13-22).
- [7] Li, L. (2009). Bottleneck detection of complex manufacturing systems using a data-driven method. *International Journal of Production Research*, 47(24), 6929-6940.
- [8] Li, L., Chang, Q., & Ni, J. (2009). Data driven bottleneck detection of manufacturing systems. *International Journal of production research*, 47(18), 5019-5036.
- [9] Vazan, P., Znamenak, J., & Juhas, M. (2018, September). Proactive Simulation in Production Line Control. In *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (Vol. 1, pp. 52-55). IEEE.
- [10] W. Zhou, S. Q. Li, Y. Q. Huang, and J. F. Wang, "Simulation Based Capacity Optimization of a General Assembly Line with Extremely Unbalanced Station Process Time," In *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1245-1249), 2019, IEEE.
- [11] Al-Khafaji, S. K., & Al-Rufaifi, H. M. (2012, July). A Case Study of Production Improvement by Using Lean with Simulation Modeling. In *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Istanbul, Turkey* (pp. 271-279).
- [12] Kulkarni, R. G., Kulkarni, V. N., & Gaitonde, V. N. (2018). Productivity improvement in assembly workstation of motor winding unit. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 23518-23525.
- [13] Heshmat, M., El-Sharief, M., & El-Sebaie, M. (2017). Simulation modelling and analysis of a production line. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 12(3-4), 369-376.
- [14] Damiani, L., Demartini, M., Giribone, P., Maggiani, M., Revetria, R., & Tonelli, F. (2018). Simulation and digital twin based design of a production line: A case study. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* (Vol. 2).
- [15] Öner-Közen, M., Minner, S., & Steinhäler, F. (2017). Efficiency of paced and unpaced assembly lines under consideration of worker variability—A simulation study. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 516-526.
- [16] Opacic, L., Sowlati, T., & Mobini, M. (2018). Design and development of a simulation-based decision support tool to improve the production process at an engineered wood products mill. *International journal of production economics*, 199, 209-219.
- [17] Singh, N., Herps, K., Martagan, T., & Adan, I. J. (2019, December). > Simulation-Based Performance Evaluation of A Manufacturing Facility with Vertical As/Rs. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2001-2012). IEEE.
- [18] Allgeier, H., Flechsig, C., Lohmer, J., Lasch, R., Schneider, G., & Zettler, B. (2020, December). Simulation-Based Evaluation of Lot Release Policies in a Power Semiconductor Facility—a Case Study. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1503-1514). IEEE.
- [19] AnyLogic website. [Online]. Available: <https://www.anylogic.com>
- [20] A. Kampa, A., Gołda, G., & Paprocka, I. (2017). Discrete event simulation method as a tool for improvement of manufacturing systems. *Computers*, 6(1), 10.



Gıda örneklerinden izole edilen *Enterococcus* türlerinin çeşitli virülans özellikleri, biyofilm oluşumu ve antibiyotik dirençliliklerinin belirlenmesi

Tuğçe Gürkan¹, Meryem Burcu Külahcı^{2*}, Sumru Çıtak³

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID:0000-0002-1999-3319), tugcegurkan@gazi.edu.tr

^{2*} Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5007-5209), meryemburcu@gazi.edu.tr

³ Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1925-0483), scitak@gazi.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012135)

ATIF/REFERENCE: Gürkan, T., Külahcı, M. B. & Çıtak, S. (2021). Gıda Örneklerinden İzole Edilen *Enterococcus* Türlerinin Çeşitli Virülans Özellikleri, Biyofilm Oluşumu ve Antibiyotik Dirençliliklerinin Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology* (28), 924-932.

Öz

Çalışmamızda Eylül -Aralık 2020 tarihlerinde 20 çiğ süt, 20 peynir, 20 çiğ tavuk eti, ve 20 çiğ et olmak üzere 80 adet gıda ürününden izole edilen *Enterococcus* izolatlarının tanımlanması için temel biyokimyasal testler ve identifikasyon işlemi MALDI-TOF Kütle Spektrofotometresi ile yapılarak 60 izolattan 42 (%70) *Enterococcus faecalis* ve 18 (%30) *Enterococcus faecium* türü izole edilmiştir. *E.faecalis* ve *E.faecium* türlerinin Kirby-Bauer disk difüzyon metoduyla antibiyotik direnç profilleri, lipaz, jelatinaz, DNaz aktiviteleri, hemolitik aktivitesi, S tabakası varlığı ve biyofilm aktiviteleri incelenmiştir. *E.faecalis* türlerinin en fazla duyarlı olduğu antibiyotikler %100 kloramfenikol, streptomisin, vankomisin ve teikoplanin, %97,6 gentamisin ve norfloksasin, %95,2 ampisilin, %92,8 siprofloksasin olarak saptanmıştır. En fazla dirençlilik gösterdiği antibiyotik %90,4 tetrasiklidir. *E.faecium* türlerinin en fazla duyarlı olduğu antibiyotikler %100 ampisilin, kloramfenikol, streptomisin, gentamisin, vankomisin ve teikoplanin, % 77,7 siprofloksasin, %72,2 norfloksasindir. En fazla dirençlilik gösterdiği antibiyotik %61,1 tetrasiklidir. Lipaz ve jelatinaz aktiviteleri tümünde negatif, DNaz aktiviteleri ise tümünde pozitif sonuç vermiştir. S tabakası varlığı *E.faecalis*'te %83,3 ve *E.faecium*'da %16,6 bulunmuştur. Biyofilm aktiviteleri Kongo Red Agar'da 60 adet *Enterococcus* spp. türü bakterinin 2'si (%3.3) kuvvetli, 22'si (%36.6) orta kuvvetli, 36'sı (%60) zayıf biyofilm pozitif üretmiştir. Mikroplak yönteminde *E.faecalis*'te 32'si (%53,3) zayıf, 8'i (%13,3) orta kuvvetli, 2'si (%3,3) kuvvetli biyofilm üretmiştir. *E.faecium*'da 17'si (%28,3) zayıf, 1'i (%1,6) orta kuvvetli biyofilm üretmiştir. Kuvvetli biyofilm üreten *Enterococcus* türleri saptanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Gıda, *Enterococcus*, Virülans özellikler, Virülans genler, Biyofilm oluşumu, Antibiyotik dirençliliği, Disk difüzyon.

Determination of various virulence properties and biofilm formation antibiotic resistance of *enterococcus* species isolated from food samples

Abstract

In our study, basic biochemical tests and identification process for the identification of *Enterococcus* isolates isolated from 80 food products, including 20 raw milk, 20 cheese, 20 raw chicken meat, and 20 raw meat, between September and December 2020, were performed with MALDI-TOF Mass Spectrophotometer and 42 of 60 isolates were identified. (70%) *Enterococcus faecalis* and 18 (30%) *Enterococcus faecium* species were isolated. Antibiotic resistance profiles, lipase, gelatinase, DNase activities, hemolytic activity, presence of S layer and biofilm activities of *E.faecalis* and *E.faecium* species were investigated by Kirby-Bauer disc diffusion method. The antibiotics to which *E.faecalis* species were most susceptible were found to be 100% chloramphenicol, streptomycin,

* Sorumlu Yazar: meryemburcu@gazi.edu.tr

vancomycin and teicoplanin, 97.6% gentamicin and norfloxacin, 95.2% ampicillin, 92.8% ciprofloxacin. The antibiotic with the highest resistance is 90.4% tetracycline. The antibiotics to which *E.faecium* species are most susceptible are 100% ampicillin, chloramphenicol, streptomycin, gentamicin, vancomycin and teicoplanin, 77.7% ciprofloxacin, 72.2% norfloxacin. The antibiotic with the highest resistance is 61.1% tetracycline. Lipase and gelatinase activities were negative in all, and DNase activities were positive in all. Presence of S layer was found 83.3% in *E.faecalis* and 16.6% in *E.faecium*. Biofilm activities of 60 *Enterococcus* spp. on Congo Red Agar. Of the bacteria, 2 (3.3%) were strong, 22 (36.6%) were medium strong, and 36 (60%) were weak biofilm positive. In the microplate method, 32 (53.3%) weak, 8 (13.3%) medium-strong, 2 (3.3%) strong biofilms were produced in *E.faecalis*. In *E.faecium*, 17 (28.3%) produced weak biofilms and 1 (1.6%) produced medium-strength biofilm. Strong biofilm-producing *Enterococcus* species were not detected.

Keywords: Food, *Enterococcus* species, *Enterococcus*, Enterococci, Virulence determinants, Virulence genes, Biofilm formation, Antibiotic resistance, Disc diffusion.

1. Giriş

Enterococcus'lar, insan ve hayvanlarda gastrointestinal florada bulunup ve hayvanlardan elde edilen besin ürünlerinde olduğu gibi insan ve hayvan kaynaklı kanalizasyon ve fekal materyaller tarafından kontamine olmuş ortamlarda yaygındır [1], [2]. Hayvanların bağırsak florasındaki yaygınlığa göre hayvansal gıdalar başta olmak üzere pek çok gıdada bulunabilirler. Bu yüzden bazı çalışmalarda *E.faecalis* ve *E.faecium*'un fekal kontaminasyon göstergesi olarak değerlendirildiği görülmektedir [3]. *Enterococcus* 'ların gıdalarda yetersiz hijyen indikatörü olarak değil aynı zamanda gıdanın bir parçası olarak da göz önüne alınması gerekmektedir [3], [4]. Aynı zamanda *Enterococcus* 'lar ısıtma işlem görmüş et ürünlerinde yüksek sıcaklığa karşı dirençli olma özelliğinden dolayı pastörizasyon sonrası canlı kalırlar. Dilimleme ve paketleme gibi işlem basamaklarında çapraz kontaminasyona bağlı olarak üründe bozulma yapabilmektedirler. Bu bakteriler, istenmeyen özelliklerinin yanında birçok yararlı özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde starter, yardımcı kültür (adjunct) ve probiyotik olarak da kullanılmaktadır [3], [4], [5]. Normal floranın fırsatçı patojenleri olarak tanınan *Enterococcus* 'lar, hastane enfeksiyon etkenleri arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Bazı suşlarının yararlı özelliklerinin yanında *Enterococcus* 'ların en yaygın hastane kaynaklı patojenlerin arasında yer aldığı, özellikle de *E. faecium* ve *E. faecalis*'in fırsatçı patojen olduğu, bakteriyemi ve endokarditisin gibi hastalıklarla beraber üriner sistemde ve merkezi sinir sistemi gibi dokularda enfeksiyonlara neden olabildiği bildirilmektedir. *Enterococcus* 'ların patojenite mekanizmalarında vankomisin gibi bazı antibiyotiklere direnç özelliklerinin ve sahip oldukları çeşitli virülans faktörlerinin önemli rolü olduğu belirtilmektedir [4].

Enterococcus 'ların insan sağlığı açısından dikkat çekmesinin nedenlerinden biri antibiyotiklere direnç özellikleridir. Antibiyotik dirençliliği, *Enterococcus* 'ların hastane ortamında canlılığını sürdürmesine ve dirençli suşların yayılmasına neden olmaktadır. *Enterococcus* 'ların antibiyotik direnci doğal ve kazanılmış direnç şeklinde sınıflandırılmaktadır. Sefalosporinler, aminoglikozitler, polimiksinler, linkomisin ve klindamisinine karşı oluşan direnç doğal direnç olarak tanımlanmaktadır. Makrolitler, tetrasiklinler, kloramfenikol, trimetoprim sulfametoksazol, rifampisin, aminoglikozitler, glikopeptitler (vankomisin ve teicoplanin vb.) ve ampisiline karşı oluşan dirence ise kazanılmış direnç denilmektedir. Ampisilin, vankomisin ve gentamisin, çoklu antibiyotige dirençli *Enterococcus* 'ların tedavisinde klinik alanlarda yaygın kullanılan antibiyotiklerdir. Son yıllarda vankomisinin yaygın kullanımı sonucu vankomisine dirençli *Enterococcus* (VRE) suşlarının sayısında ve bununla beraber hastane kaynaklı yüksek

vankomisin direncine sahip *Enterococcus* 'ların invazyon oranında artış gözlenmiştir [6].

Enterococcus 'ların patojenitesi hem antibiyotiklere olan dirençleri hem de virülans faktörleri ile ilişkilendirilmektedir. Virülans faktörleri olarak agregasyon materyalleri, jelatinaz, hücre dışı yüzey proteini bunlara örnek olarak verilebilir. Jelatinaz, jelatini, kollajeni, hemoglobini hidrolize eden bir hücre dışı metallo-endopeptidaz enzimidir. Gıdalardaki *E.faecalis* suşlarında jelatinaz üretim oranı, çalışmalarda genotipte jelatinaz geninin bulunmasına karşılık fenotipte bu özelliği göstermemesi üzerine değişiklik gösterebilmektedir. Hücre dışı yüzey proteininin adhezyonda ve konakçı bağışıklık sisteminden korunmada rol oynadığı düşünülmektedir. Patojenlerin konakçı dokudaki hücre dışı matrikse tutunması enfeksiyona yol açabilmektedir. Lipaz, besinlerle alınan yağların yapı taşlarına kadar parçalanması ve vücutta kullanılabilir hale getirilmesinden sorumlu olan enzimdir. Bu enzim sayesinde trigliserid formunda vücuda alınarak sindirim kanalında ilerleyen yağlar, yağ asitleri ve gliserole dönüştürülerek emilime hazır hale getirilir. Gıdalarda bulunan *Enterococcus* türleri lipaz enzimine dayanıklıdır ve aktivite sonuçları zayıf veya negatiftir [7].

DNaz, DNA'daki fosfodiester bağlarını kesen, DNA'yı kısa oligonükleotit parçalarına ya da tamamen bileşenlerine ayıran bir enzimdir. *E.faecalis* ve *E.faecium* türleri DNA bozunmasına neden olan bu enzime sahiptirler. Hücre zarfının bir parçası olan S tabakasının yapısında protein ve glukoprotein vardır. *Enterococcus* türlerinde S-tabakası peptidoglikan tabakaya bağlıdır (dış membran yoktur). S-tabakası hücreyi iyon ve pH değişimleri dışında ozmotik basınç ve yabancı enzimlere karşı da korur ve bazı bakteri hücrelerinde şeklin oluşumunda ve zarfın sağlamlığında rol oynar. *Enterococcus* türlerinin çoğunda S tabakası oluşumu pozitif gözlenir [8].

En yaygın iki *Enterococcus* türü olan *E.faecalis* ve *E.faecium*, çeşitli biyotik ve abiyotik yüzeylere geri döndürülemez şekilde eklenmiş bir hücre popülasyonundan oluşan, ekzopolimerik maddelerin hidratlanmış bir matrisine yerleştirilmiş biyofilm üretebilir [9]. Biyofilm, çeşitli biyotik ve abiyotik yüzeylere geri döndürülemez şekilde bağlanmış ve ekzopolimerik maddeler, proteinler, polisakkaritler ve nükleik asitlerin hidratlı bir matrisine yerleştirilmiş bir hücre popülasyonudur [10]. Biyofilmlerin yok edilmesi çok zordur ve birçok kronik enfeksiyonun kaynağıdır [11]. Biyofilmlerdeki *Enterococcus* 'lar, planktonik olarak büyüyen *Enterococcus* 'lardan daha antibiyotiklere karşı daha dirençlidir, bu nedenle biyofilm oluşumunun potansiyel etkisi önemli olabilir [9].

Araştırmamızın amacı, *Enterococcus* türlerinin tüketime sunulan çeşitli gıda örneklerinden izolasyonu, identifikasyonu, antibiyotik dirençliliğinin, biyofilm üretimlerinin ve fenotipik virülans özelliklerinin araştırılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Gıda Örneklerinin Toplanması

Eylül-Aralık 2020 tarihleri içerisinde, Ankara'da bulunan çeşitli market, çiftlik, sokak satıcıları ve pazarlarında satışa sunulan 20 çiğ süt, 20 peynir, 20 çiğ tavuk (göğüs, but, kanat), 20 çiğ et (gerdan, antrikot, döş, sırt) olmak üzere toplam 80 gıda örneği materyal olarak kullanılmıştır. Örnekler soğuk zincir koşullarında, steril kapların içinde laboratuvar ortamına getirilmiş ve aynı gün içinde çalışma yapılmıştır.

2.2. Gıda Örneklerinde *Enterococcus* İzolasyonu ve Ön Tanımlamasının Yapılması

Araştırmamızda *Enterococcus* spp. izolasyonu için, Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği'nde belirtilen esaslara göre yapılmıştır [12]. Kültürel yöntemlere göre izolatların ön tanımlaması metotta 2 aşamada yapılmıştır:

2.2.1. Ön zenginleştirme

Alınan örnekler 9:1 oranında Tamponlanmış Peptonlu Su'ya (Peptone Water) konulmuştur. 24 saat 37°C 'de inkübe edilmiştir [12].

2.2.2. Zenginleştirme

10⁻¹ dilüsyondan Slanetz-Bartley Agar'da (SBA, Merck, 105262) ekim yapılarak 48-72 saat 37°C'de inkübe edilmiştir. SBA besiyerinde üreyen tipik kırmızı ve pembe renkteki koloniler kanlı agara pasajlanarak 24-48 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır [12].

2.3. Bakteri İzolatlarının Tür Tanımlamaları

Ön tanımlanması yapılan izolatların tür tanımlamaları Crystal Gram Positive Kit (BD BBL) ile yapılmış ve 60 bakteri örneğinin tamamının türü *Enterococcus* spp. olarak belirlenmiştir. İzolatların tür tayini Sağlık Bakanlığı'nın Mikrobiyoloji Referans Laboratuvarı ve Biyolojik Ürünler Daire Başkanlığı'na ait Ulusal Mikrobiyoloji Laboratuvar'ında MALDI TOF MS kütle spektrometresi ile yapılmıştır. Pozitif Kontrol olarak *E.faecalis* ATCC 29212 suşu kullanılmıştır.

2.4. İzolatların Antibiyotik Dirençlilik Profillerinin Belirlenmesi

Enterococcus spp. izolatlarının antibiyotik dirençliliği ve duyarlılığı Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI 2013) kurallarına belirlenen antibiyotiklere (gentamisin (10 mcg), tetrasiklin (30 mcg), eritromisin (15 mcg), kloramfenikol (30 mcg), streptomisin (30 mcg), ampicilin (10 mcg), vankomisin (30 mcg), siprofloksasin (10 mcg), norfloksasin (10 mcg) ve teikoplanin (30 mcg)) Kirby-Bauer disk difüzyon yöntemiyle yapılmıştır. Mueller Hinton Agar'da, inkübasyon süresi bitiminde disklerin etrafında oluşan inhibisyon zonlarının çapları ölçülmüştür [13].

2.5. İzolatların Fenotipik Virülans Profilinin Belirlenmesi

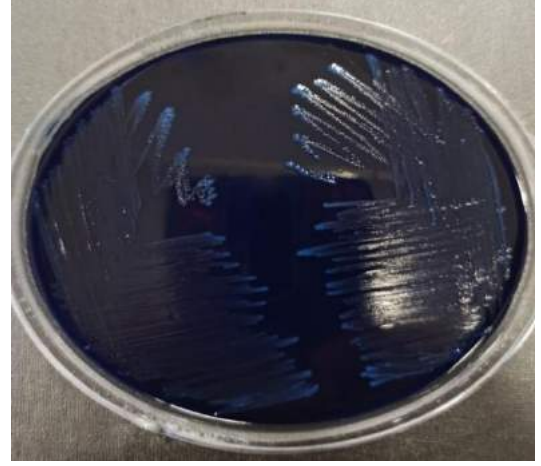
Hemolitik aktivite Koyun Kanlı Agar'da 37°C'de ve 24 saatte üreyen bakteri kolonilerinin hemolitik aktivitesi çevresinde eritrositlerin parçalanarak bir zon oluşturmasına göre değerlendirilmiştir [14].

Lipaz aktivitesi Tributyrin Agar'da 25-30°C'da 2-3 gün inkübe edilmiştir. Besiyeri bileşimindeki tribütirinin bulanıklığa neden olup olmadığı incelenmiştir [15].

Jelatinaz üretimi, jelatin ortamı (Nutrient Gelatine) üzerinde cam tüpler içerisinde 5 mL besiyeri kullanılarak yapılmıştır. Öze ile sıvı besiyerinden alınan bakteri örneği jelatin besiyerine daldırma yöntemi ile ekilmiştir. 37°C'de 10-30 gün inkübe edilmiştir [16].

DNaz aktivitesi, DNaz Agar üzerinde belirlenmiştir. DNaz besiyerine ekimi yapılan bakterilerin üzerin %8.3'lük HCl damlatılmış ve bakterilerinde etrafında şeffaf zon oluşumu gözlemlenmiştir [17].

Yüzey tabakasının (S-tabakası) varlığı, 0.1 mg/mL Coomassie Brilliant Blue R 250 ile güçlendirilmiş TSA besiyeri üzerindeki kültürlerin çizilmesi ile değerlendirilmiştir. TSA besiyerine eklenen 0.1 mg/mL Coomassie Brilliant Blue üzerinde besiyerindeki proteinlerin parçalanması sonucunda kolonilerin koyu mavi renkte ürediği gözlemlenmiştir [18].

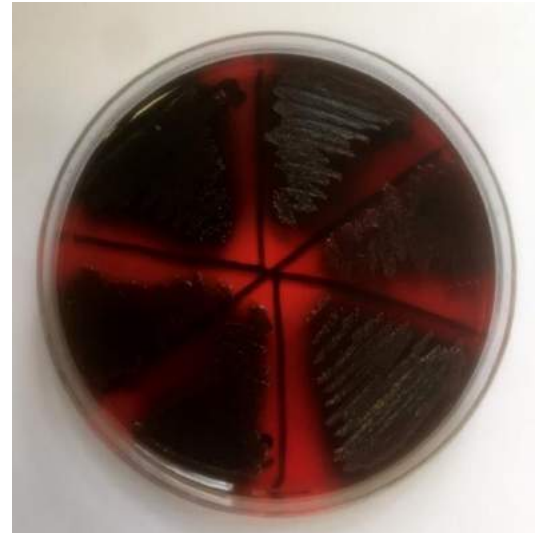


Resim 1. TSA-C besiyerinde *Enterococcus*'ların görünüşü

2.6. Biyofilm Oluşumu

2.6.1. Kongo Red Agar Yöntemi

Biyofilm oluşumuna Kongo Red Agar yöntemi ve Mikroplak Yöntemi ile bakılmıştır. Suşlar kongo kırmızılı agara ekim yapıldıktan sonra 25°C'de 24 saat inkübasyon sonucunda, kuru kristalize siyah koloniler oluşturan suşlar biyofilm pozitif, kırmızı veya pembe renkli koloni oluşturan suşlar ise biyofilm negatif olarak değerlendirilmiştir. Koyuluk derecesine göre sonuçlar +, ++, +++ şeklinde değerlendirilmiştir.



Resim 2. *Enterococcus* türlerinin Kongo Red Agar'da biyofilm aktiviteleri

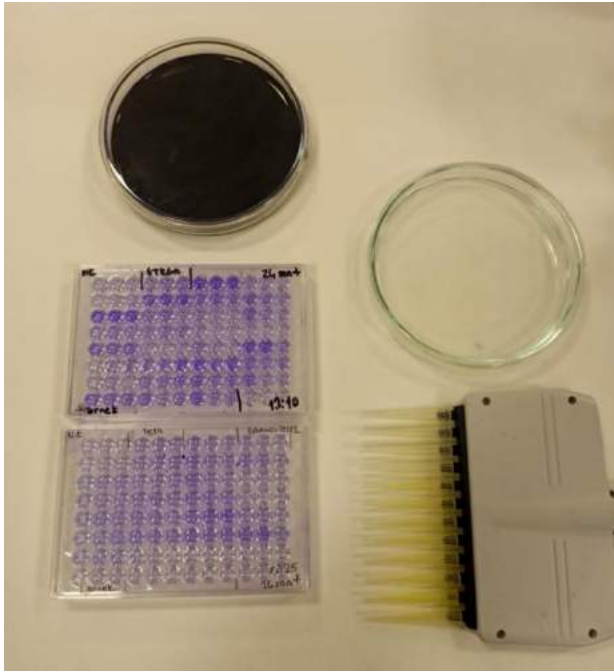
2.6.2. Mikroplak Yöntemi

Saflaştırılmış *Enterococcus* tür kolonileri, 10 mL Tryptone Soy Broth'da süspansiyon edilmiş 37°C'de 18 saat süreyle inkübe edilmiş ve 2 dakika boyunca 12.000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Hücre topları fosfat tamponlu çözelti (PBS) içinde, yapışma özellikleri, negatif kontrol olarak steril TSB içeren steril 96

kuyucuklu polistiren mikrotitre plakalarının oyukları yoluyla tespit edilerek yıkanmış *E. faecalis* 29212 pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. Mikrotitre plakaları 24 saat 37°C'de inkübe edilmiş, steril PBS ile yıkanarak 28 ± 2 ° C'de kurumaya bırakılmıştır. Kristal viyole ile boyanıp 30 dakika beklenmiştir. Kuyucuklar tekrar sterilize edilmiş deiyonize su ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Yapışık hücrelere bağlanan kristal viyole boya 150 mL %99 etanol içinde yeniden süspansiyon haline getirilmiş, ilgili kuyucuklardaki OD okumaları 570 ve 595 nm'de bir mikropilaya okuyucu ile değerlendirilmiştir. Aşağıdaki tablolarda belirtilen değer aralıklarına göre “+, ++, +++” şeklinde değerlendirilmiştir [19].

Tablo 1. Mikrotiter plaka yönteminde biyofilm oluşturma yeteneğinin sınıflandırılması

Cut-off değeri hesaplama	OD değerleri sonuçlarının ortalaması
OD > 4 × ODc	... OD > 0.236 (Güçlü)
2 × ODc < OD ≤ 4 × ODc	0.118 < OD ≤ 0.236 (İlman)
ODc < OD ≤ 2 × ODc	0.059 < OD ≤ 0.118 (Zayıf)
OD ≤ 0.059	... OD ≤ 0.059 (Hiçbiri)



Tablo.3. Gıda örneklerinden izole edilen *E.faecalis* ve *E.faecium* izolatlarının disk difüzyon yöntemiyle belirlenen antibiyotik dirençlilik oranlarının antibiyotiklere göre sayısı ve oranları

Bakteri Türü	<i>E.faecalis</i> Yüzde (%)			<i>E.faecium</i> Yüzde (%)			Toplam Duyarlılık	Toplam Dirençlilik
	Duyarlı	Orta Duyarlı	Dirençli	Duyarlı	Orta Duyarlı	Dirençli		
Ampisilin (AM)	40 (%95,2)	-	2 (%4,7)	18 (%100)	-	-	58 (%96,6)	0
Eritromisin (E)	13 (%30,9)	9 (%21,4)	20 (%47,6)	4 (%22,2)	6 (%33,3)	8 (%44,4)	17 (%28,3)	28 (%46,6)
Tetrasiklin (TE)	4 (%9,5)	-	38 (%90,4)	7 (%38,8)	-	11 (%61,1)	11 (%18,3)	49 (%81,6)
Kloramfenikol (C)	42 (%100)	-	-	18 (%100)	-	-	60 (%100)	0
Siprofloksasin (CIP)	39 (%92,8)	3 (%7,1)	-	14 (%77,7)	3 (%16,6)	1 (%5,5)	53 (%88,3)	1 (%1,6)

Resim E.4. *Enterococcus türlerinin mikropilak yöntemiyle biyofilm aktiviteleri*

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Tablo.2. Gıda örneklerinden izole edilen *Enterococcus türlerinin izole edildikleri materyallere göre dağılımları*

Gıda örnek adı	<i>E.faecalis</i>		<i>E. faecium</i>		Toplam İzolat Sayısı
	İzolot sayısı	%	İzolot sayısı	%	
Çiğ Süt (n=20)	11	55	6	30	17
Peynir (n=20)	12	60	8	40	20
Çiğ Tavuk (n=20)	10	50	1	5	11
Et (n=20)	9	45	3	15	12
TOPLAM	42	210	18	90	60

Tablo 2'ye göre; çalışılan gıdalardan 60 *Enterococcus* izolatı elde edilmiş olup 42 tanesi *E.faecalis* ve 12 tanesi *E.faecium* olarak tespit edilmiştir.

Streptomisin (S)	42 (%100)	-	-	18 (%100)	-	-	60 (%100)	0
Gentamisin (CN)	41 (%97,6)	1 (%2,3)	-	18 (%100)	-	-	59 (%98,3)	0
Vankomisin (VA)	42 (%100)	-	-	18 (%100)	-	-	60 (%100)	0
Norfloksasin (NOR)	41 (%97,6)	1 (%2,3)	-	13 (%72,2)	3 (%16,6)	2 (%11,1)	54 (%90)	2 (%3,3)
Teikoplanin (TEC)	42 (%100)	-	-	18 (%100)	-	-	60 (%100)	0

negatiftir. 60 *Enterococcus* izolat örneğinin tümünde DNaz aktivitesi pozitif bulunmuştur.

Tablo.5. Gıda örneklerinden izole edilen *Enterococcus spp.* izolatlarının Yüzey Tabakası (S-Tabakası) Varlığına göre TSA-C renk koyulukları sonuçlarının sayısı ve yüzde oranları

<i>Enterococcus spp.</i>	TSA-C Renkleri		
	Açık	Orta	Koyu
	S-tabakası		
	Negatif	Pozitif	
<i>E.faecalis</i>	2 (%14,2)	20 (%90,9)	20 (%83,3)
<i>E.faecium</i>	12 (%85,7)	2 (%9)	4 (%16,6)
TOPLAM	14	22	24

Tablo.3'e göre; gıda örneklerinden izole edilen *E.faecalis* ve *E.faecium* izolatlarının disk difüzyon yöntemiyle belirlenen antibiyotik dirençlilik oranlarında *E.faecalis* türlerinin %100 duyarlı olduğu antibiyotikler sırasıyla kloramfenikol, streptomisin, vankomisin ve teikoplanin olarak incelenmiştir. *E.faecium* türlerinin %100 duyarlı olduğu antibiyotikler sırasıyla ampicilin, kloramfenikol, streptomisin, gentamisin, vankomisin ve teikoplanin olarak incelenmiştir. En yüksek antibiyotik direnci tetrasiklinde saptanmış olup değerler *E.faecalis*'te 38 (%90,4) ve *E.faecium*'da 11 (61,1) şeklindedir.

Tablo.4. Gıda örneklerinden izole edilen *Enterococcus spp.* izolatlarının hemolitik aktivite sonuçlarına göre sayısı ve yüzde oranları

(Enterococcus spp.)	Hemolitik Aktivite	
	Pozitif	Negatif
<i>E.faecalis</i>	14 (%82,3)	28 (%65,1)
<i>E.faecium</i>	3 (%17,6)	15 (%34,8)
TOPLAM	17	43

Tablo 4'e göre hemolitik aktivite *E.faecalis*'te %82,3, *E.faecium*'da %17,6 olarak saptanmıştır.

60 *Enterococcus* izolatının tümünde lipolitik aktivite sonucunda bulanıklık ve zonlar gözlemlenmemiş ve lipaz aktivite negatif sonuç vermiştir. 60 *Enterococcus* izolatının tümünde bir sıvılaşma, gözlenmemiş olup bakteriler jelatinaz

Tablo.6. Gıda örneklerinden izole edilen toplam 60 *Enterococcus spp.* türü bakterinin Kongo Red Agar ve Mikroplak Yöntemi ile elde edilen biyofilm aktivite ölçüm sonuçları

Bakteri Türü	<i>E.faecalis</i>		<i>E.faecium</i>	
	Yöntem		Yöntem	
	Kongo Red Agar	Mikroplak Yöntemi	Kongo Red Agar	Mikroplak Yöntemi
Aktivite Ölçüm Değeri				
+	31 (%51,6)	32 (%53,3)	6 (%10)	17 (%28,3)
++	11 (%52,3)	8 (%13,3)	10 (%16,6)	1 (%1,6)
+++	0	2 (%3,3)	2 (%3,3)	0

Tablo 6'ya göre çeşitli gıda örneklerinden izole edilen 60 adet *Enterococcus spp.* türü bakterinin kongo red agar'da biyofilm aktivitesinin 37'sinde (%61,6) zayıf, 21'inde (%35) orta kuvvetli, 2'sinde (%3,3) kuvvetli biyofilm görülmüştür.

Kuvvetli biyofilm oluşturan bakteri türlerinden ikisi de *E.faecium*'dur.

Mikroplak yönteminde 37°C'de 48 saat inkübasyona bırakılan 60 izolat arasında en yüksek biyofilm değerine sahip olanı *E.faecalis* türü süt örneğidir ve biyofilm değeri 595 nm'de 2,211'dir. Biyofilm değeri en düşük olan izolat ise *E.faecium* türüne ait olup yine süt örneğinden elde edilmiştir ve biyofilm değeri 595 nm'de 0,022'dir. 48 saatlik inkübasyon süresinde de biyofilm değeri yüksek olan izolatların çoğunlukla *E.faecalis* türüne ait olduğu görülmüştür. Toplam biyofilm aktivitesi *E.faecalis*'te 42 (%70), *E.faecium*'da 18 (%30) olarak saptanmıştır.

Enterococcus'lar, hayvanların bağırsak florasındaki yaygınlığa bağlı olarak özellikle hayvansal gıdalar başta olmak üzere pek çok gıdada bulunabilmektedir. Bu nedenle birçok çalışmada *E.faecalis* ve *E.faecium*'un fekal kontaminasyon göstergesi olarak değerlendirildiği görülmektedir. Ancak pek çok gıdada *E. faecalis*'in yaygın bulunmasının her zaman için doğrudan fekal kontaminasyon göstergesi olarak değerlendirilmemesi gereğine de değinilmektedir. Peynir ve et gibi belirli hayvansal ürünlerin veya örneğin zeytin gibi fermente edilmiş bitki ürünlerinin fermentasyonu ve olgunlaşmasında faydalı olabildikleri gibi bir gıda kontaminantı olarak istenmeyebilir [20], [21]. *Enterococcus*'ların pastörizasyondan etkilenmemeleri, geniş pH veya örneğin zeytin gibi fermente edilmiş bitki ürünlerinin fermentasyonu ve olgunlaşmasında faydalı olabildikleri gibi bir gıda kontaminantı olarak istenmeyebilir [20], [21]. *Enterococcus*'ların pastörizasyondan etkilenmemeleri, geniş pH aralıklarında ve yüksek NaCl konsantrasyonunda büyüyebilmeleri yemeye hazır gıdaların kalıntı mikrobiyotasını oluşturabilirler [22], [23].

Çalışmamızda 80 farklı gıda örneğinden (çiğ süt, peynir, çiğ tavuk, et) yapılan izolasyon ve tür tanımlamaları sonucunda 60 bakteri izolatının 42'si (%70) *E.faecalis* ve 18'i (%30) *E.faecium* olarak belirlenmiştir. Ülkemizde ve yurt dışında yapılan son çalışmalarda gıda kaynaklı *Enterococcus*'ların beyaz peynirden, tulum peynirinden, geleneksel Türk sucuğundan, tavuk, sığır eti, Cheddar peyniri, beyaz peynir, krem peynir, yoğurt, sütlü tatlılar gibi gıdalardan karabiber ve kırmızı biber gibi baharatlardan yaygın olarak izole edildiği gözlenmektedir [3], [4], [5]. Oruç ve ark. İran ve Türk beyaz peynirlerinden yaptıkları bir çalışmada 12 *E.faecalis* ve 8 *E.faecium* suşu elde etmişlerdir [24].

Bu çalışmalarda bizim sonuçlarımızla paralel olarak *Enterococcus* türlerinin et ve süt ürünlerinde yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir. Gomes ve ark. Brezilya gıda ürünleri ile (çiğ ve pastörize süt, et ürünleri, peynirler ve sebzeler) yaptıkları çalışmada gıda örneklerinin %52,5'ini *Enterococcus* olarak tespit etmişlerdir. Pavia ve ark. *Enterococcus* izolatlarını Catanzaro (İtalya) perakende satış noktalarında satılan etlerden (sığır, tavuk, hindi, kuzu ve domuz eti) çoğunluğu tavuk eti (%65,4) olmak üzere %45'inden, izole etmişlerdir. Bulunan türlerde en sık rastlanılanları çiğ süt ve ette *E. faecium* ve *E. faecalis* iken sebzelerde *E. casseliflavus* olarak bulunmuştur [25], [26], [27].

Suzzi ve ark. 2000 yılında İtalyan keçi peyniri ile yaptıkları bir çalışmada en yaygın olan *Enterococcus* türlerinin *E.faecalis* ve *E.faecium* olduğunu tespit etmişlerdir. Suzzi ve ark. *E. faecium* ve *E. faecalis*'in çevresel örneklerden en sık izole edilen türler olduğunu ve bu çalışmada olduğu gibi, istenmeyen enterokokların varlığının bozulma sorunlarına neden olabileceğini ve peynir üretimi sırasında kötü hijyen koşullarından kaynaklanabileceğini doğrulamıştır. Suzzi ve

arkadaşlarının sonuçları, araştırmamızda da gıdalarda *E.faecalis* (%70) ve *E.faecium* (%30) yüksek sıklıkta izole edilen türler olması nedeni ile uygunluk göstermiştir [28].

Wessels ve ark. (1988) *E. faecalis*'in (izolatların %73.4'ü) süzme peynirde yaygın olan tür olduğunu, Rao ve ark. (1986), Hindistan'da yaptıkları çalışmada, *E.faecalis*'in çiğ sütte, *Efaecium*'un kuru süt hariç tüm süt ürünlerinde baskın olduğunu bildirmişlerdir [29]. Litopoulou-Tzanetaki (1990) çalışmasında, Kefalotyri peynirindeki aroma gelişimi için önemli olan diğer laktik asit bakterileri ile birlikte kullanılan *E.durans* ve *E.faecium*'u tespit etmiştir [30].

Ülkemizde yapılan çalışmalarda Çıtak ve ark. *Enterococcus* spp. varlığı açısından analiz ettikleri 30 Türk beyaz peynir numunesinden elde ettikleri 101 izolatından 62 *E. faecalis*, 25 *E.faecium*, 7 *E.durans*, 5 *E.mundtii* ve 2 *E.Hirae* elde etmişlerdir [31]. Çıtak ve ark. Yaptıkları bir başka çalışmada 78 çiğ süt örneğinden izole ettikleri 177 *Enterococcus* izolatının %54.2'sini *Enterococcus faecalis* ve %29'unu *E.faecium* olarak tanımlamışlardır [32].

Enterococcus'ların antibiyotik direnci doğal (intrinsik) direnç ve kazanılmış direnç şeklinde sınıflandırılmaktadır. *Enterococcus* antibiyotik direnci üzerine yapılan çalışmalar değerlendirilirken ortaya çıkan görüntü, çoklu ilaca dirençli suşların olası oluşumudur. *Enterococcus* antibiyotik direnci klinik alana özel değildir, aynı zamanda gıda endüstrisinde de yaygındır. Daha önce hastanede ya da antibiyotik kullanmadıkları zaman hastaneye yatırılan bireylerde VRE varlığı, VRE'nin gıda zinciri yoluyla olabileceğini de düşündürmektedir.

Pavia ve ark. (2000), İtalya'da kontamine beyaz peynir, tavuk, kuzu, hindi ve sığır etinden izole ettikleri *Enterococcus*'ların Vankomisine dirençli *Enterococcus* (VRE) ve Teikoplanine dirençli *Enterococcus* (TRE) düzeylerini sırasıyla %29 ve %39 olarak tespit etmişlerdir. Tavuk örneklerinde vankomisin direncini daha yüksek (%76,5) bulmuşlardır. Teikoplanine (TRE) karşı genel direnç %30 iken, pozitif olanlar arasında TRE izolatların %66.7'sini temsil ediyordu. En sık görülen izolatlar *E.faecium* (%35.6) ve *E.faecalis* (%33.3) idi. Vankomisin ve teikoplanine direnci *E. faecium*'un sırasıyla %75 ve %78,5'inde ve *E. faecalis*'in %40 ve %46.7'sinde gözlemlenmişlerdir. Çoğu suşun ampisiline (%80) duyarlı, metisiline (%88.9) dirençli olduğunu görmüşlerdir. İzolatlarda en yüksek direnç prevalansını streptomisin (%88.9), tetrasiklin (%84.4) ve eritromisin (%75.6) olarak bulmuşlardır. Vankomisine direncin, metisilin, teikoplanin, eritromisin, tetrasiklin ve kloramfenikol ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu saptamışlardır [25].

%80'den fazla insan enfeksiyonları ile ilişkili *Enterococcus*'ların en önemlileri *E. faecalis*'tir [33]. Son yıllarda, VRE ile kolonizasyonun sıklıkla sağlık ortamı dışındaki hayvan, gıda ve çevresel rezervuarlardan kaynaklandığı öne sürülmüştür. Bu da *E. faecalis*'in patojenik potansiyelinin *E. faecium*'dan daha fazla olduğunu düşündürmektedir [34], [25].

Ülkemizde yapılan çalışmalarda Çıtak ve ark. 30 Türk beyaz peynirinden elde ettikleri *Enterococcus* spp.'nin 101 izolatından 62 *E. faecalis* ve 25 *E.faecium* türünün streptomisin, eritromisin, oksasilin ve vankomisine karşı direncini araştırmış ve *E. faecalis* izolatlarının %96.8'inde, *E. faecium* izolatlarının %76'sında vankomisine direnç saptamışlardır ve bu çalışma ile Türk beyaz peynirinde *Enterococcus*'ların, vankomisine dirençli suşların varlığını doğrulamışlardır [31].

Çıtak ve ark. bir başka çalışmalarında antibiyotiklerin çiğ süttten elde edilen *Enterococcus* izolatlarına karşı in vitro

aktivitelerini belirlemek için disk-difüzyon yöntemini uygulamış ve *Enterococcus* izolatlarında yüksek oranda oksasilin, streptomisin ve eritromisin direnci olduğunu görmüşlerdir (%95, 97 ve %86). *E.faecalis* izolatlarının sırasıyla %48 ve %52'sinde vankomisin ve teikoplanin direnci, *E. faecium* için %26 ve %33 vankomisin ve teikoplanin direnci gözlemlenmiştir [35].

Bizim sonuçlarımıza göre de *E.faecalis* türlerinin *E.faecium*'a göre antibiyotiklere daha duyarlı oldukları görülmüştür. *E.faecalis* türlerinin duyarlı olduğu antibiyotikler sırasıyla kloramfenikol 42 (%100), streptomisin 42 (%100), vankomisin 42 (%100) teikoplanin 42 (%100), gentamisin 41 (%97,6), norfloksasin 41 (97,6), ampisilin 40 (%95,2) olarak incelenmiştir. *E.faecium* türlerinin duyarlı olduğu antibiyotikler sırasıyla ampisilin (%100), kloramfenikol 18 (%100), streptomisin 18 (%100), gentamisin 18 (%100), vankomisin 18 (%100) ve teikoplanin 18 (%100), siprofloksasin 14 (%77,7), norfloksasin 13 (%72,2) olarak incelenmiştir. En yüksek antibiyotik direnci tetrasiklinde saptanmış olup değerler *E.faecalis*'te 38 (%90,4) ve *E.faecium*'da 11 (%61,1) şeklindedir. *E.faecalis* ve *E.faecium* için toplam antibiyotik duyarlılık oranları ampisilinde 58 (%96,6), eritromisinde 17 (%28,3), tetrasiklinde 11 (%18,3), kloramfenikolde 60 (%100), siprofloksasinde 53 (%88,3), streptomisinde 60 (%100), gentamisinde 59 (%98,3), vankomisinde 60 (%100), norfloksasinde 54 (%90), teikoplaninde 60 (%100) olarak incelenmiştir. *E.faecalis* ve *E.faecium* için toplam antibiyotik dirençlilik oranları tetrasiklinde 49 (%81,6), eritromisinde 28 (%46,6), siprofloksasinde 1 (%1,6), norfloksasinde 2 (%3,3) olarak bulunmuş ve kloramfenikol, streptomisin, gentamisin, vankomisin, teikoplanin ve ampisilinde toplam dirençlilik 0'dır.

Araştırmamızda süt ve süt ürünleri, et ve et ürünleri gibi gıda örneklerinden izole edilen toplam 60 *Enterococcus* izolatının en fazla vankomisin 60 (%100), kloramfenikol 60 (%100), teikoplanin 60 (%100), streptomisine 60 (%100) duyarlı, tetrasiklin 49 (%81,6) ve eritromisine 28 (%46,6) dirençli olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizde son yıllarda yapılan Oruç ve ark. (2021) çalışmasında Türk beyaz peynirlerinden izole ettikleri *E.faecalis* ve *E.faecium* suşlarında çalıştıkları kloramfenikol (duyarlı), tetrasiklin (duyarlı), vankomisin (duyarlı), gentamisin (duyarlı), eritromisin (orta duyarlı) ve ampisilin (8 duyarlı ve 14 dirençli suş) antibiyotikleri ile elde ettikleri sonuçlar bizim sonuçlarımızı desteklemiştir [24].

Ülkemizde yapılan çalışmalarda Şanlıbaba ve ark. (2018) peynir ile yaptıkları çalışmada direnç fenotipini; kanamisin (%98.6), ampisilin (%48.8), siprofloksasin (%45.5), eritromisin (%18.8), tetrasiklin (%11.7), kloramfenikol (%4.2), gentamisin (%3.8) ve streptomisin (%1.4) şeklinde tespit etmişlerdir. Suşların hiçbirini vankomisine dirençli bulmamışlardır. *E. faecium* suşları antibiyotik direnç seviyeleri ile gösterildiği gibi *E.faecalis* suşlarından daha dirençli fenotipler göstermiş ve *E.faecium* ve *E.faecalis* suşlarının antibiyotiklere karşı dirençlerinin de istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (p<0.05). Toplamda, *E.faecium*'un %100'ü ve *E.faecalis* suşlarının %88,8'i birden fazla ilaca dirençli bulunmuştur [35].

Son yapılan araştırmalarda gıdalardan izole edilen *Enterococcus*'ların antibiyotik direnç özelliklerinin yanında potansiyel virülans faktörleri yönüyle de incelenmesinin gerektiği vurgulanmaktadır [1], [36], [37], [38], [39]. Araştırmamızda virülans karakterleri olarak *Enterococcus* türlerinin hemolitik aktivitesini *E.faecalis*'te 14 %82,3, *E.faecium*'da 3 %17,6 olarak saptadık. Lipaz ve jelatinaz aktivitesi negatif bulduk. DNAz aktivitesini bütün *E.faecalis*

(%100) ve *E.faecium* (%100) türlerinde pozitif gözlemledik. S-layer tabakası bulundurma oranlarını *E.faecalis*'te 20'si (%83,3), *E.faecium*'da 4 (%16,6) olarak gözlemledik.

Ülkemizde ise İspirli ve ark. (2017) Türk beyaz peyniri ile yaptıkları çalışmada *Enterococcus* suşları için tam hemolitik aktivite gözlemlenmemişler ve kısmi hemolitik aktivite olarak 12 suştan 8'inde gözlemlenmişlerdir [40].

Semedo ve ark. koyun peyniri ve süttten izole ettikleri 20 farklı türdeki 164 *Enterococcus* suşundan koyun kanlı agarda yaptıkları hemolitik aktivite sonucuna göre bütün suşlarda hemolitik aktivite gözlemlenmişler ve bu özelliğin *Enterococcus*'larda yaygın olduğunu tespit etmişlerdir [14].

Lauková ve ark. Slovakya'da 283 keçiden çiğ keçi sütü (53) örnekleri toplamış ve elde ettikleri *Enterococcus* izolatlarında jelatinaz genine rastlamamışlardır [41].

İgbinosa ve ark. (2020) çalışmalarında gıdalardan izole ettikleri 59 *Enterococcus* izolatının fenotipik virülans özelliklerinden: S-layer 59 (%100); jelatinaz üretimi 19 (%32,2); ve β -hemoliz, 21 (%35.6) şeklinde bulmuşlardır [8].

Semedo ve ark. çalışmalarında çoğunluğu gıda kaynaklı suşların (%63) %49'unda lipaz aktivitesi saptamıştır. Pozitif fenotipleri *E.faecalis* (%51), *E.durans* (16%) ve *E.faecium* (%11) olarak bulmuşlardır. %70'i gıda kaynaklı ve sadece %22'si klinik olan suşların %22'sinde deoksiribonükleaz (DNaz) üretimi tespit edilmiştir [14].

Semedo ve ark. (2003) ve İgbinosa ve ark. (2019) sonuçları ile çalışmamızda 60 *Enterococcus* izolatına uyguladığımız jelatinaz aktivitesinin negatif sonuç göstermesi jelatinaz aktivitesinin virülans karakteri olarak gıdalarda *Enterococcuslar*'da önemini ortaya çıkarmıştır [14], [8].

Biyofilmler çeşitli biyotik ve abiyotik yüzeylere geri döndürülemez şekilde bağlanmış ve ekzopolimerik maddeler, proteinler, polisakkaritler ve nükleik asitlerin hidratlı bir matrisine yerleştirilmiş bir hücre popülasyonudur. Biyofilmlerin yok edilmesi çok zordur ve birçok kronik enfeksiyonun kaynağıdır. Ulusal Sağlık Enstitüleri'ne göre biyofilmler tıbbi olarak önemlidir ve vücuttaki mikrobiyal enfeksiyonların % 80'inden fazlasını oluşturur [42].

Biyofilmlerdeki *Enterococcuslar*, planktonik olarak büyüyen *Enterococcus*'lara göre antibiyotiklere karşı daha dirençlidir, bu nedenle biyofilm oluşumunun potansiyel etkisi önemli olabilir [42].

Çalışmamızda çeşitli gıda örneklerinden izole edilen 60 adet *Enterococcus* spp. türü bakterinin Kongo Red Agar yöntemiyle bakılan biyofilm aktivitesi sonuçlarına göre 2'si (%3.3) kuvvetli, 22'si (%36.6) orta kuvvetli, 36'sı (%60) zayıf biyofilm pozitif bulunmuştur. En kuvvetli biyofilm oluşumu iki *E.faecium* izolatında saptanmıştır.

Mikroplak yöntemiyle bakılan biyofilm aktivite sonuçlarına göre ise 37°C'de 48 saat inkübasyona bırakılan 60 izolat arasında en yüksek biyofilm değerine sahip olanı süt örneğinden elde edilen *E.faecalis*'tir ve biyofilm değeri 595 nm'de 2,211'dir. Biyofilm değeri en düşük olan izolat ise *E.faecium* türüne ait olup yine süt örneğinden elde edilmiştir ve biyofilm değeri 595 nm'de 0,022'dir. 48 saatlik inkübasyon süresinde de biyofilm değeri yüksek olan izolatların çoğunlukla *E.faecalis* türüne ait olduğu görülmüştür.

Bu çalışmalar sonucu *E. faecalis* bakteri türlerinin *E.faecium* türlerine göre daha yüksek sayıda biyofilm oluşturduklarını gözlemledik. Bu veriler *E. faecalis*'in *E. faecium*'dan daha sık biyofilm ürettiğini ve biyofilm oluşumunun *Enterococcus* enfeksiyonunun patogeneğinde önemli bir faktör olabileceğini düşündürmektedir.

Mohamed ve ark. yaptığı çalışmada bir biyofilmin *E. faecalis* ve *E. faecium* tarafından farklı biyomateryaller üzerine yapışmasını ve üretimini göstermiş ve *Enterococcus*'ların biyofilm üretme yeteneği olarak üreteral stentler, intravasküler kateterler, safra stentleri ve silikon gastrostomi cihazları gibi çeşitli tıbbi cihazlara bağlanma kapasitesini göstermişlerdir [9].

Di Rosa ve diğer araştırmacılar *E. faecalis* suşlarının tamamına yakınında (%95,2) biyofilm oluşturma yeteneği tespit etmişlerdir. *E. faecalis* izolatlarının *E. faecium*'dan daha sık biyofilm ürettiğini öne sürmüşlerdir [43].

4. Sonuç

Amaçlarımız doğrultusunda elde ettiğimiz sonuçlar; gıda ürünlerinden izole edilen *Enterococcus*'lara çeşitli özellikler kazandıran virülans genler ve antibiyotik dirençliliği hakkında bilgileri ortaya konulmuş, direncin oluşmasını engelleme veya oluşan direnci azaltmaya yönelik ileride yapılacak çalışmalara yön verecektir. Bu bilgiler ışığında, direncin gelişiminin önlenmesinin önemi, dolayısıyla gıda ve hayvancılık işletmelerinde bilinçli ve kontrollü üretim yapılması gerekliliği vurgulanarak, ülke ekonomisi ve toplumun refah düzeyinin artırılması ile yaygın bir etki sağlayacaktır.

Bu çalışma ile normal floranın fırsatçı patojenleri olarak insanlarda, nozokomiyal kan dolaşımı, üriner sistem infeksiyonlarına, bakteriyemiye, endokardite, intraabdominal, yumuşak doku infeksiyonlarına ve neonatal sepsis gibi ciddi hastalıklara yol açan *Enterococcus*'ların gıda zinciri aracılığı ile insanlara bulaşabileceği bilincinin kazandırılması ve hayvansal gıda tüketiminin daha bilinçli yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Ayrıca *Enterococcus*'lardaki hemolitik aktivite, biyofilm oluşumu ve diğer virülans faktörleri klinik alanda izole edilen *Enterococcus* izolatlarının yanında gıda kaynaklı izolatlarda da bulunabileceği ve bakterinin patojenitesini etkileyebileceği düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Çalışmamız, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Müdürlüğü'nün 05/2020-19 kodlu projesiyle desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

[1] Franz, C. M., Muscholl-Silberhorn, A. B., Yousif, N. M., Vancanneyt, M., Swings, J., & Holzapfel, W. H. (2001). Incidence of virulence factors and antibiotic resistance among enterococci isolated from food. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(9), 4385-4389.

[2] Oryaşın, E. (2008). *Çeşitli çevresel kaynaklardan izole edilen enterokokların disk difüzyon yöntemi ile antibiyotik duyarlılıklarının tespiti* (Doctoral dissertation, Adnan Menderes Üniversitesi).

[3] Klein, G. (2003). Taxonomy, ecology and antibiotic resistance of enterococci from food and the gastro-intestinal tract. *International journal of food microbiology*, 88(2-3), 123-131.

[4] İşleroğlu, H., Yıldırım, Z., & Yıldırım, M. (2008). Identification and isolation of lactic acid bacterium having antimicrobial activity from traditionally produced cheese. *Journal of the Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*.

[5] Khan, H., Flint, S., & Yu, P. L. (2010). Enterocins in food preservation. *International journal of food microbiology*, 141(1-2), 1-10.

[6] Toğay, S. Ö., & Temiz, A. (2011). Gıda kaynaklı enterokokların gıda ve insan sağlığı yönünden önemi. *Gıda*, 36(5), 303-310.

[7] Yu, M. K., Kim, M. A., Rosa, V., Hwang, Y. C., Del Fabbro, M., Sohn, W. J., & Min, K. S. (2019). Role of extracellular DNA in *Enterococcus faecalis* biofilm formation and its susceptibility to sodium hypochlorite. *Journal of Applied Oral Science*, 27.

[8] Igbinosa, I. H., Beshiru, A., Egharevba, N. E., & Igbinosa, E. O. (2020). Distribution of Enterobacteria in Ready-to-Eat Food in Cafeterias and Retail Food Outlets in Benin City: Public Health Implications. *Journal of Community Medicine and Primary Health Care*, 32(2), 80-94.

[9] Mohamed, J. A., & Huang, D. B. (2007). Biofilm formation by enterococci. *Journal of medical microbiology*, 56(12), 1581-1588.

[10] Bollinger, N., Hassett, D. J., Iglewski, B. H., Costerton, J. W., & McDermott, T. R. (2001). Gene expression in *Pseudomonas aeruginosa*: evidence of iron override effects on quorum sensing and biofilm-specific gene regulation. *Journal of bacteriology*, 183(6), 1990-1996.

[11] Lewis, K. (2001). Riddle of biofilm resistance. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 45(4), 999-1007.

[12] Kodeksi, T. G. (2011). Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği. *RG*, 29(2011), 28157.

[13] Wayne, P. A. (2011). Clinical and laboratory standards institute. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing.

[14] Semedo, T., Almeida Santos, M., Martins, P., Silva Lopes, M. F., Figueiredo Marques, J. J., Tenreiro, R., & Barreto Crespo, M. T. (2003). Comparative study using type strains and clinical and food isolates to examine hemolytic activity and occurrence of the *cyl* operon in enterococci. *Journal of Clinical Microbiology*, 41(6), 2569-2576.

[15] Jeong, J. Y., Jo, Y. H., Kim, S. B., Liu, Q., Lee, J. W., Mo, E. J., ... & Lee, M. K. (2015). Pancreatic lipase inhibitory constituents from *Morus alba* leaves and optimization for extraction conditions. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 25(11), 2269-2274.

[16] Kanemitsu, K., Nishino, T., Kunishima, H., Okamura, N., Takemura, H., Yamamoto, H., & Kaku, M. (2001). Quantitative determination of gelatinase activity among enterococci. *Journal of microbiological methods*, 47(1), 11-16.

[17] Omar, N. B., Castro, A., Lucas, R., Abriouel, H., Yousif, N. M., Franz, C. M., ... & Gálvez, A. (2004). Functional and safety aspects of enterococci isolated from different Spanish foods. *Systematic and Applied Microbiology*, 27(1), 118-130.

[18] Bernoth, E. M. (1990). Autoagglutination, growth on tryptone-soy-Coomassieagar, outer membrane protein patterns and virulence of *Aeromonas salmonicida* strains. *Journal of Fish Diseases*, 13(2), 145-155.

[19] Stepanović, S., Vuković, D., Hola, V., Bonaventura, G. D., Djukić, S., Čirković, I., & Ruzicka, F. (2007). Quantification of biofilm in microtiter plates: overview of testing conditions and practical recommendations for assessment of biofilm production by staphylococci. *Apmis*, 115(8), 891-899.

- [20]Moreno, M. F., Sarantinopoulos, P., Tsakalidou, E., & De Vuyst, L. (2006). The role and application of enterococci in food and health. *International journal of food microbiology*, 106(1), 1-24.
- [21]Ben Braïek, O., & Smaoui, S. (2019). Enterococci: between emerging pathogens and potential probiotics. *BioMed Research International*, 2019.
- [22]Ghosh, A., & Zurek, L. (2015). Antibiotic resistance in Enterococci: A food safety perspective. In *Antimicrobial Resistance and Food Safety* (pp. 155-180). Academic Press.
- [23]Hanchi, H., Mottawea, W., Sebei, K., & Hammami, R. (2018). The genus Enterococcus: between probiotic potential and safety concerns—an update. *Frontiers in microbiology*, 9, 1791.
- [24]Oruc, O., Cetin, O., Darilmaz, D. O., & Yüsekdağ, Z. N. (2021). Determination of the biosafety of potential probiotic Enterococcus faecalis and Enterococcus faecium strains isolated from traditional white cheeses. *LWT*, 148, 111741.
- [25]Pavia, M., Nobile, C. G., Salpietro, L., & Angelillo, I. F. (2000). Vancomycin resistance and antibiotic susceptibility of enterococci in raw meat. *Journal of food protection*, 63(7), 912-915.
- [26]Gelsomino, R., Vancanneyt, M., Cogan, T. M., Condon, S., & Swings, J. (2002). Source of enterococci in a farmhouse raw-milk cheese. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(7), 3560-3565.
- [27]Saavedra, L., Taranto, M. P., Sesma, F., & de Valdez, G. F. (2003). Homemade traditional cheeses for the isolation of probiotic Enterococcus faecium strains. *International journal of food microbiology*, 88(2-3), 241-245.
- [28]G., Suzzi, M., Caruso, F., Gardini, A., Lombardi, L., Vannini, M. E., Guerzoni and M. T., Lanorte, “A survey of the enterococci isolated from an artisanal Italian goat's cheese (semicotto caprino),” *Journal of Applied Microbiology*, vol. 89 pp. 2, 267-274, 2000.
- [29]Devriese, L. A., Pot, B., Van Damme, L., Kersters, K., & Haesebrouck, F. (1995). Identification of Enterococcus species isolated from foods of animal origin. *International journal of food microbiology*, 26(2), 187-197.
- [30]Litopoulou-Tzanetaki, E. (1990). Changes in numbers and kinds of lactic acid bacteria during ripening of Kefalotyri cheese. *Journal of Food Science*, 55(1), 111-113.
- [31]Çitak, S., Yucel, N., & Orhan, S. (2004). Antibiotic resistance and incidence of Enterococcus species in Turkish white cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 57(1), 27-31.
- [32]Citak, S., Yucel, N., & Mendi, A. (2005). Antibiotic resistance of enterococcal isolates in raw milk. *Journal of food processing and preservation*, 29(3-4), 183-195.
- [33]Jett, B. D., Huycke, M. M., & Gilmore, M. S. (1994). Virulence of enterococci. *Clinical microbiology reviews*, 7(4), 462-478.
- [34]Giraffa, G. (2002). Enterococci from foods. *FEMS microbiology reviews*, 26(2), 163-171.
- [35]Sanlibaba, P., & Senturk, E. (2018). Prevalence, characterization and antibiotic resistance of enterococci from traditional cheeses in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1955-1963.
- [36]Hugas, M., Garriga, M., & Aymerich, M. T. (2003). Functionality of enterococci in meat products. *International journal of food microbiology*, 88(2-3), 223-233.
- [37]Hummel, A., Holzapfel, W. H., & Franz, C. M. (2007). Characterisation and transfer of antibiotic resistance genes from enterococci isolated from food. *Systematic and applied microbiology*, 30(1), 1-7.
- [38]Theilacker, C., Sanchez-Carballo, P., Toma, I., Fabretti, F., Sava, I., Kropec, A., ... & Huebner, J. (2009). Glycolipids are involved in biofilm accumulation and prolonged bacteraemia in Enterococcus faecalis. *Molecular microbiology*, 71(4), 1055-1069.
- [39]Carlos, A. R., Semedo-Lemsaddek, T., Barreto-Crespo, M. T., & Tenreiro, R. (2010). Transcriptional analysis of virulence-related genes in enterococci from distinct origins. *Journal of applied microbiology*, 108(5), 1563-1575.
- [40]İspirli, H., Demirbaş, F., & Dertli, E. (2017). Characterization of functional properties of Enterococcus spp. isolated from Turkish white cheese. *LWT*, 75, 358-365.
- [41]Lauková, A., Focková, V., & Pogány Simonová, M. (2021). Enterococcal Species Associated with Slovak Raw Goat Milk, Their Safety and Susceptibility to Lantibiotics and Duracin ED26E/7. *Processes*, 9(4), 681.
- [42]İlhan, G. Ü. N., & Ekinçi, F. Y. (2009). Biyofilmler: yüzeylerdeki mikrobiyal yaşam. *Gıda*, 34(3), 165-173.
- [43]Di Rosa, R., Creti, R., Venditti, M., D'Amelio, R., Arciola, C. R., Montanaro, L., & Baldassarri, L. (2006). Relationship between biofilm formation, the enterococcal surface protein (Esp) and gelatinase in clinical isolates of Enterococcus faecalis and Enterococcus faecium. *FEMS microbiology letters*, 256(1), 145-150.



Design and Evaluation of the PV Simulator with Modified P&O Algorithm

Ersagun Kürşat Yaylacı¹, Mohammad Al Msalma², Novruz Mammadli^{3*}

¹ Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0358-5617), ekyaylaci@karabuk.edu.tr

² Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3470-2540), moh.almsalma@gmail.com

^{3*} Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Karabuk, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2886-0080), novruz31198@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012151)

ATIF/REFERENCE: Yaylacı, E.K., Al Msalma, M. & Mammadli, N. (2021). Design and Evaluation of the PV Simulator with Modified P&O Algorithm. *European Journal of Science and Technology*, (28), 933-939.

Abstract

In this study, a photovoltaic simulator simulates the behaviour of a photovoltaic system is designed. A DC-DC buck type converter is used to realize the photovoltaic simulator. The photovoltaic simulator gives researchers, manufacturers, and university laboratories the opportunity to easily test their systems under variable irradiances and temperatures without the need to wait until weather conditions become proper to study. The designed photovoltaic simulator is verified in terms of the I-V and P-V characteristics of the photovoltaic panel by comparing it with the photovoltaic model of the MATLAB/Simulink. A DC-DC boost converter is connected to the designed photovoltaic simulator to be able to maximum power point tracking studies. Moreover, perturb and observe method used to get maximum power from the photovoltaic panel is modified to prevent some deficiencies of the classical one. The perturb and observe method and modified perturb and observe method are applied to both the photovoltaic model of Simulink and the designed photovoltaic simulator. Thereby, the developed method is also verified by the maximum power point tracking algorithms. Also, it is proved with the simulation result that the modified perturb and observe method extracts more energy than the classic one from the photovoltaic power.

Keywords: Photovoltaic Simulator, Maximum power point tracking, Perturb and observe algorithm, MATLAB.

PV Simülâtörün Tasarımı ve Geliştirilmiş P&O Algoritmasıyla Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışmada, fotovoltaiik sistemin davranışını simüle eden fotovoltaiik simülâtör tasarlanmıştır. Fotovoltaiik simülâtörü gerçekleştirmek için DC-DC buck tipi dönüştürücü kullanılmıştır. Fotovoltaiik simülâtör, araştırmacılara, üreticilere ve üniversite laboratuvarlarına, hava koşullarının çalışmaya uygun hale gelmesini beklemeye gerek kalmadan sistemlerini değişken ışınımlar ve sıcaklıklar altında kolayca test etme fırsatı verir. Tasarlanan fotovoltaiik simülâtör, fotovoltaiik panelin I-V ve P-V özellikleri açısından MATLAB/Simulink'in fotovoltaiik modeli ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Maksimum güç noktası takibi çalışmaları yapabilmek için tasarlanan fotovoltaiik simülâtöre DC-DC boost dönüştürücü bağlanmıştır. Ayrıca fotovoltaiik panelden maksimum güç elde etmek için kullanılan Değiştir-Gözle yöntemi, klasik Değiştir-Gözle yönteminin bazı eksikliklerini gidermek için değiştirilmiştir. Değiştir-Gözle yöntemi ve geliştirilmiş Değiştir-Gözle yöntemi hem Simulink'in fotovoltaiik modeline hem de tasarlanan fotovoltaiik simülâtöre uygulanmıştır. Böylece geliştirilen yöntem maksimum güç noktası izleme algoritmaları ile de doğrulanmıştır. Ayrıca geliştirilmiş Değiştir-Gözle yönteminin fotovoltaiik güçten klasik Değiştir-Gözle yöntemine göre daha fazla enerji çektiği simülasyon çalışmaları ile kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaiik simülâtör, Maksimum güç noktası takibi, Değiştir-Gözle algoritması, MATLAB.

* Corresponding Author: novruz31198@gmail.com

1. Introduction

The environmental concern because of the fossil fuel-based energy production tends to the researchers to investigate renewable energy sources (RES) (Delihasanlar et al., 2019). It is known that the PV energy extracted in one day from the earth can be enough for the total energy demands of one year (S. Hiwale et al., 2014).

The power extracted from PV panels highly depends on the irradiation and temperature values. Moreover, the maximum power for each irradiation and temperature value is a unique value for PV panels. It is called maximum power point (MPP) in the literature. A method known as maximum power point tracking (MPPT) should be used to operate the PV at MPP. The MPPT studies require the test conditions for the PV panels, and test conditions should not be depended on the climatic effects. It can be, of course, possible when the PV simulator (PVS) is used.

As the photovoltaic industry spreads, the need for testing new devices and technologies are increasing. Since the photovoltaic systems depend on temperature and irradiance, testing systems become so hard, especially during the winter. Another factor is the big size of the solar panels, making it challenging to test massive projects because it requires extensive areas for the solar arrays. In short, the ability to test systems under different situations is nearly impossible in normal conditions. As a result that, the need for devices that simulate the behaviour of PV arrays arose and became a must.

As a response to the need for PVS, a few companies have designed high-efficient PVS devices. But the problem is that the PV simulators designed by the big companies have a high cost. Creating a low-cost PVS with high efficiency that gives the small institutions and researchers the ability to test their systems without needing to purchase such high-cost devices can be very useful.

A new and cheap method of making a PVS is using light-emitting diodes (LEDs) as in (Tsuno et al., 2008), (Watjanatepin & Sritanauthaikorn, 2021). Another alternative way to get the PV cells' behaviour is to use some mathematical models proposed in the literature (Rasheed et al., 2021), (Yaqoob et al., 2021), (Tamrakar et al., 2015). The single diode model is one of the widespread methods, and there are different types of models of the single diode model in (Duc et al., 2020). Also, the two diode model is prevalent, but it is very complex to implement; however, its accuracy is more than a single diode model (Ahmad et al., 2016).

The other important issue is the MPPT algorithms for the PV systems. During the last decades, taking into account technological development, various studies have reviewed multiple MPPT algorithms (Berrera et al., 2009), (Motahhir et al., 2020). Considering those methods, one of the most common algorithms for the MPPT is the Perturb and Observe (P&O) algorithm (Abdel-Salam et al., 2020), (Farhat et al., 2016). Many studies offer different methods to improve efficiency in P&O algorithms. In (Amrouche et al., 2007), the Artificial Neural Networks is used to reduce the disadvantages of the P&O method. In (Boukezata et al., 2016), a modified fuzzy logic control based on the P&O method is offered to test fast irradiance changing conditions

In this study, a PVS realized by a DC-DC buck converter that simulates the behaviour of a PV system is designed. The designed

PVS is tested in terms of the I-V and P-V characteristics of the PV panel by comparing it with the PV model of the MATLAB/Simulink. Furthermore, the P&O method used to get maximum power from the PV panel is modified to prevent some deficiencies of the classical one. The P&O and modified P&O (MP&O) methods are applied to both the PV model of Simulink and the designed PVS.

2. Material and Method

2.1. Modelling of PV panel and array

Fig. 1 is utilized for making PV array and aimed to take into account real-time computational processing features of the simulator and the dynamic precision of the model in this research. With the help of Kirchhoff's law (KCL), the output current I_{PV} can be calculated as in Eq. (1).

$$I_{PV} = I_{ph} - \frac{V_d}{N_s R_p} - I_d \tag{1}$$

where I_d and V_d are the turn-on current and voltage of the diode, I_{ph} is the photocell current, R_p is the parallel resistance of PV cell, N_s is the number of series PV cells V_{PV} is the voltage of PV.

The PVS is designed to simulate the PV panel and the changes in temperature and irradiance, which are the most significant parts of the study. Based on the values of irradiance and temperature given, the PVS should estimate the new behaviour of the panel, the new I-V and P-V characteristics curves and provide the proper output values.

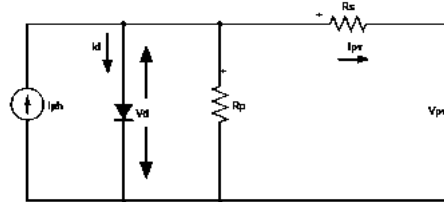


Fig. 1. Equivalent circuit of the PV cell

2.2. Selection of PV Array

The electrical specifications of the selected PV panel to be simulated in this study is given in Table 1.

2.3. Block Diagram of the System

The PVS will be based on a current feedback system where the output voltage at the load will be measured and fed back to a microcontroller. The microcontroller will define which value of current is needed as a reference based on the I-V characteristics of the solar panel. After determining the reference value, it will be fed to the system, and the load current will be subtracted from it. After passing the error signal from the PID controller, the system will be able to give the duty ratio needed at the output. Fig. 2 shows the block diagram of the system. The system will be consisting of a Buck converter as a DC-DC converter, PWM generator, PID controller, and a MATLAB function working as a microcontroller.

Table 1. Selected solar panel features

Module	Bosch Solar Energy c-Si P72 NA22126 280Wp
Maximum Power	PMP=280W
Open Circuit Voltage	VOC=45.1V
Voltage at MPP	VMP=35.9V
Short Circuit Current	ISC=8.34A
Current at MPP	IMP=7.8A

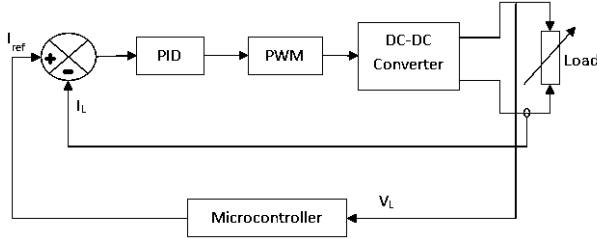


Fig. 2 Block diagram of the system

2.4. Buck Converter Design

In the basic Buck Converter circuit, the switching frequency value is selected as 40 kHz, the input voltage is 90V, and the L, C and RL values are found according to the values at the maximum power using Eq. 2-Eq. 5. The values of the Buck converter parameters are shown in Table 2 (Hart, 2010), (Kazimierczuk, 2008).

$$R_L = V_{mp} / I_{mp} \quad (2)$$

$$r_{cmax} = \Delta V_o / \Delta i_L \quad (3)$$

$$L = [R_L (1 - D)] / 2f \quad (4)$$

$$C = D / (2 f r_{cmax}) \quad (5)$$

$$\eta = P_{OUT} / P_{IN} \quad (6)$$

where RL is load resistance, V_{mp} is the voltage at the maximum power point, I_{mp} is current at the maximum power point, r_{cmax} is maximum equivalent series resistance (ESR) for C, ΔV_o is output voltage ripple, Δi_L is inductor current ripple, L is inductor value, D is the duty cycle, f is sample frequency, C is capacitor value, η is efficiency, P_{OUT} is the output power, P_{IN} is the input power.

Table 2. Parameters of Buck Converter

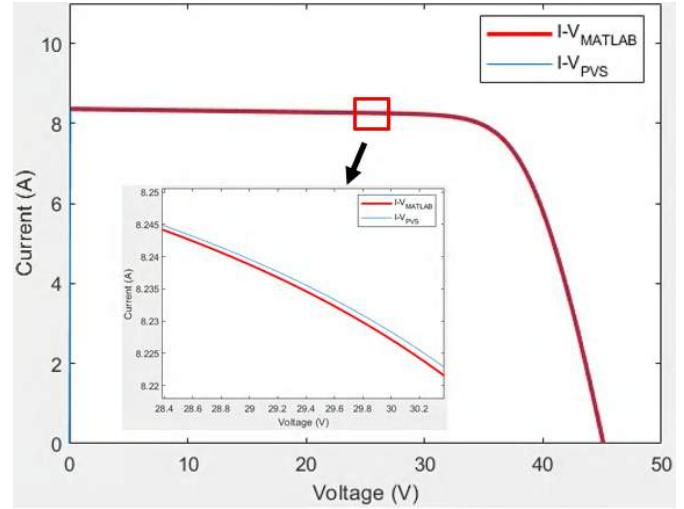
TOPOLOGY	DC-DC BUCK CONVERTER
Frequency	f = 40 kHz
Input Voltage	Vs1 = 90 V
Capacitor	C1 = 218.67 μ F
Inductor	L1 = 35.78 μ H
Resistor	RL1 = 4.6 Ω

2.5. Gathering Up the PV Simulator

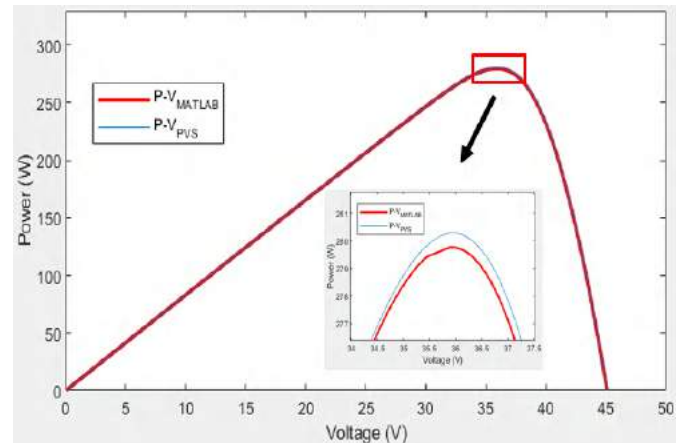
After completing the design of the Buck converter, the design of the overall system starts. The PWM generator block from MATLAB is used, and its frequency is set to be 40 kHz.

The PID controller block from MATLAB is used, and the values of K_p , K_i and K_d are found as 5, 1, 0.2, respectively.

For simulation purposes, instead of using a microcontroller, a MATLAB function block is used. Then the mathematical formulas of the practical single diode model are coded in it, and the effects of irradiation and temperature changes are considered. The resulting graphs in Fig. 3 are very close to the real I-V and P-V characteristics with less than 0.3% error value.



(a)



(b)

Fig. 3 Test Results of a) I-V Characteristics, b) P-V Characteristics

2.6. Design of Boost Converter

For designing a PV system, a DC-DC converter is very important and there are many comparative studies of these converters (Palanisamy et al., 2019), (Osmani et al., 2021), (Ettappan et al., 2021). In this paper, the boost converter is used as an interface between the PV panel and load in order to provide the ability to extract the maximum power from the panel and feed it to the load.

The switching frequency of the Boost converter is 40 kHz. The input voltage will vary since the PV array will give different voltage output based on the impedance connected to its terminals. The behaviour of the panel under the standard conditions is considered, and the Boost converter is designed to give the needed output to get the MPP. So, the input voltage will be taken as 35.9V,

and the Boost converters duty cycle at the MPP determined as 70%. The load resistor is determined based on Eq. 7, L and C values are found based on Eq. 8, 9 and with a ripple of 100mA and 100mV, respectively. The values of the Buck converter parameters are shown in Table 3. (Hart, 2010).

$$R_L = V_o^2 / P \tag{7}$$

$$C = V_o D / [\Delta V_o (1 - D) R_L f] \tag{8}$$

$$L = D(1 - D)^2 R_L / 2f \tag{9}$$

where P is the panel power, V_o is the output voltage.

Table 3. Parameters of Buck Converter

TOPOLOGY	DC-DC BOOST CONVERTER
Frequency	f = 40 kHz
Input Voltage	Vs2 = 35.9 V
Capacitor	C2 = 409.5 μ F
Inductor	L2 = 40.27 μ H
Resistor	RL2 = 51.14 Ω
Input Capacitor	Cin = 1000 μ F

2.7. P&O Algorithm

Perturb and Observe (P&O) is one of the most popular MPPT algorithms (Elgendy et al., 2012). This algorithm's working principle takes continuous V_{PV} and I_{PV} samples to find the power and compares them with the previous power values. Voltage is increased or decreased considering the change in power. This process continues until the system reaches the MPP.

2.8. Modified P&O Algorithm

The flowchart illustrated in Fig. 4 shows the modified P&O method where the new variable step algorithm is implemented. In this paper, a variable step P&O method is suggested to improve the performance of the MPPT algorithm. One of the best advantages of the modified algorithm is that it takes a shorter time to reach MPP, whereas the classic P&O algorithm, which can not include variable step function, took much more time to achieve MPP.

Another critical issue is that the classic P&O method has an oscillation at the MPP. It is prevented in the offered method. To eliminate this problem value of the duty cycle must be constant on the MPP; thus, the latest value of the duty cycle will be $D(k)$, the previous one $D(k-1)$ and the prior one $D(k-2)$. The task in this algorithm is to catch when $D(k)$ and $D(k-2)$ are equalized, so the duty cycle value will be constant after this equation. But there is another important problem: function first has to decide whether $D(k-2)$ or $D(k-1)$ is closer to MPP. To resolve it, the function has to compare the actual power value with the previous one and based on that; the duty cycle value will be assigned.

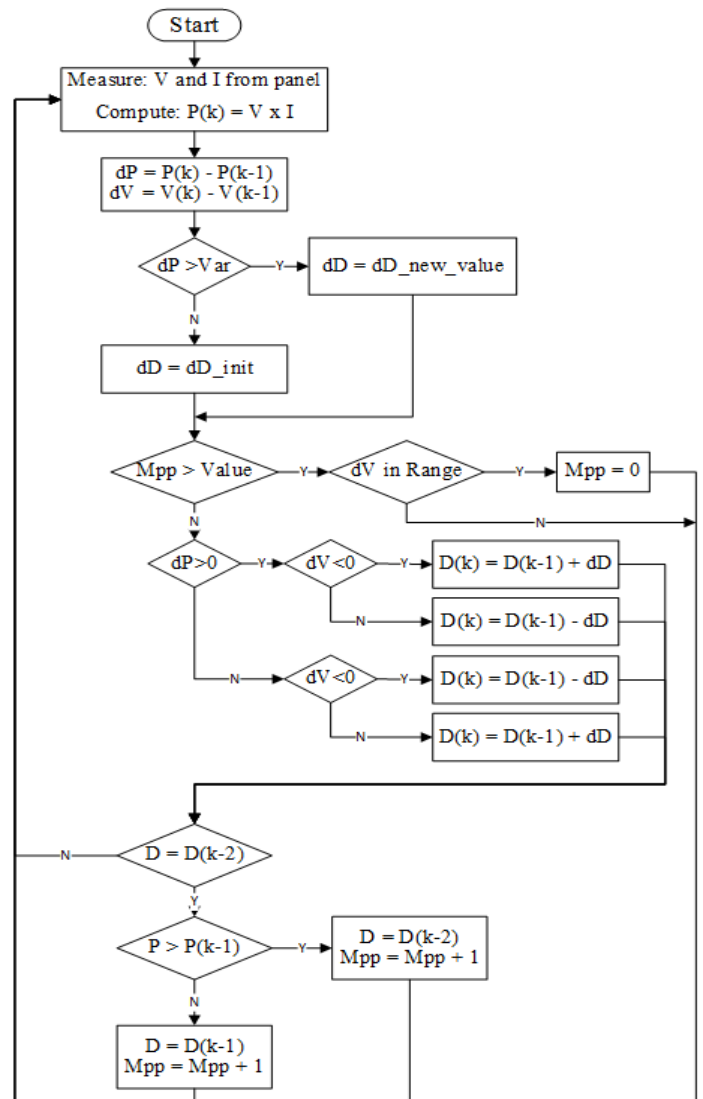


Fig. 4 Flowchart of Modified P&O Algorithm

After fixing the value of the duty cycle to a constant value, the function has to check in every change that if there will be any significant increase or decrease in the voltage. Whenever a significant change happens, the duty cycle must quit its constant value and start to change to capture the new MPP related to the new irradiance value.

2.9. Test Methodology

The PV array of MATLAB is also used to test the designed PVS, as shown in Fig. 5.

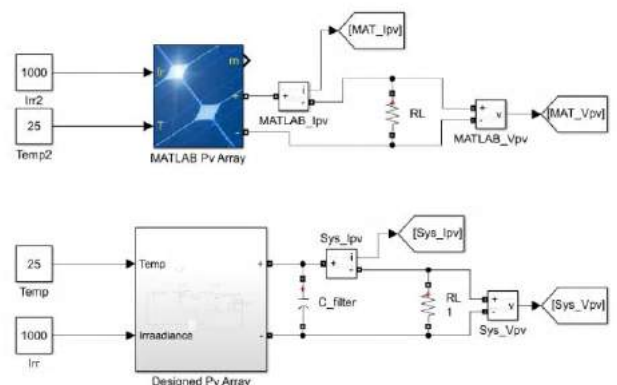


Fig. 5 MATLAB and PVS Circuits

The irradiance to be applied to the systems is changed as given in Fig. 6.

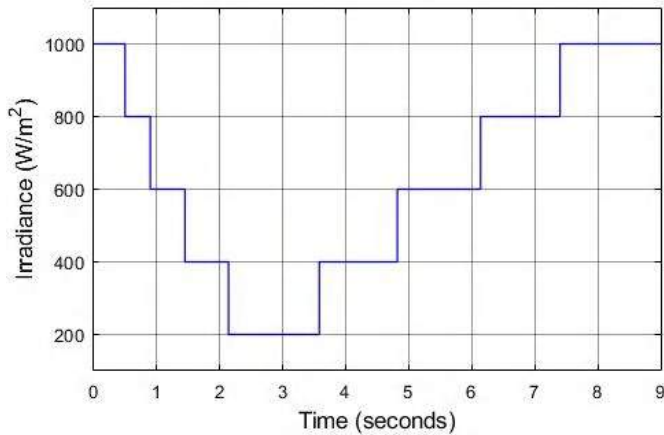


Fig. 6 Irradiance Test Signal

3. Results and Discussion

3.1. Results of PV Simulator Device

The PVS is tested for 1000 W/m², then the results are compared with the results got from the MATLAB PV model. The results of the two systems are illustrated in Fig. 7.

As a result, the PVS is working very well. From the figures, it is seen that it takes the system time until it settles in the desired value. That is because the capacitor and the inductor inside the buck converter take time until it charges and comes to the desired value. But since that the system will work continuously, the inductor and the capacitor will always be charged with a certain amount, so it will not take that much time to settle.

By ignoring the time problem and looking at the final value where the system settles, it is observed that the system can catch the desired value with an error ratio of less than 0.25%, which can be considered as a neglectable value.

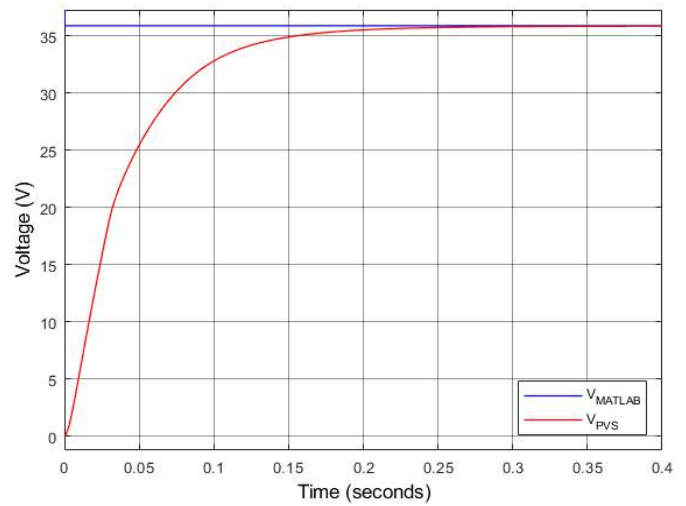
3.2. Results of PVS Connected to MPPT With P&O Algorithm

In MATLAB PV array-based system, the algorithm is worked perfectly in the power section since all the obtained values are the same as those in the datasheet. In the time section, the results are not that good since, at every change, it takes the system more than 100 ms to reach the MPP.

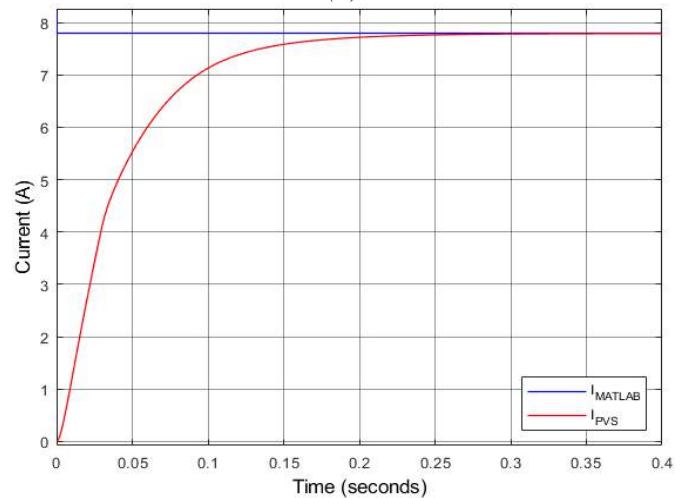
In the designed system, the system could not catch the MPP in some cases, but in the worst case, the loss is not more than 1 W, so it can be considered reasonable. In the time section, the system response is very late since the slightest change in irradiance makes the system more than 250 ms to settle at the MPP and compared to the MATLAB PV array-based system, it consumes double the time to settle. This time problem should be solved to increase the efficiency of the device.

3.3. Results of PV Simulator Connected to MPPT With Modified P&O Algorithm

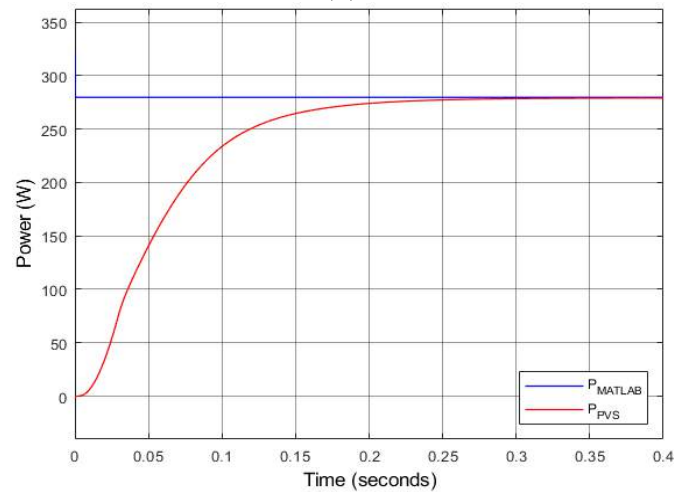
After modifying the algorithm, the step size of the duty cycle is set to be variable. Every system has its properties, so every system tested with various values of dD and every value of dD makes the system work differently, some of them made the system



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 MATLAB and PVS a) Voltage Results, b) Current Results, c) Power Results

stable, and others caused some errors. So, the values which provide the best performance were selected.

In MATLAB PV array-based system, excellent results are showing up after the modification. There were approximately no losses in power, and the time needed to reach the MPP is minimal in most cases.

In the designed system, the system does not catch the exact MPP, and there were approximately 1W of loss when the irradiance decreased. Still, this loss showed to be eliminated when the irradiance increases. The new algorithm partially solved the time problem faced in the typical algorithm since the time needed to reach the MPP is decreased by more than a half. All results mentioned B and C subsections could be seen in Fig. 8 and Fig. 9.

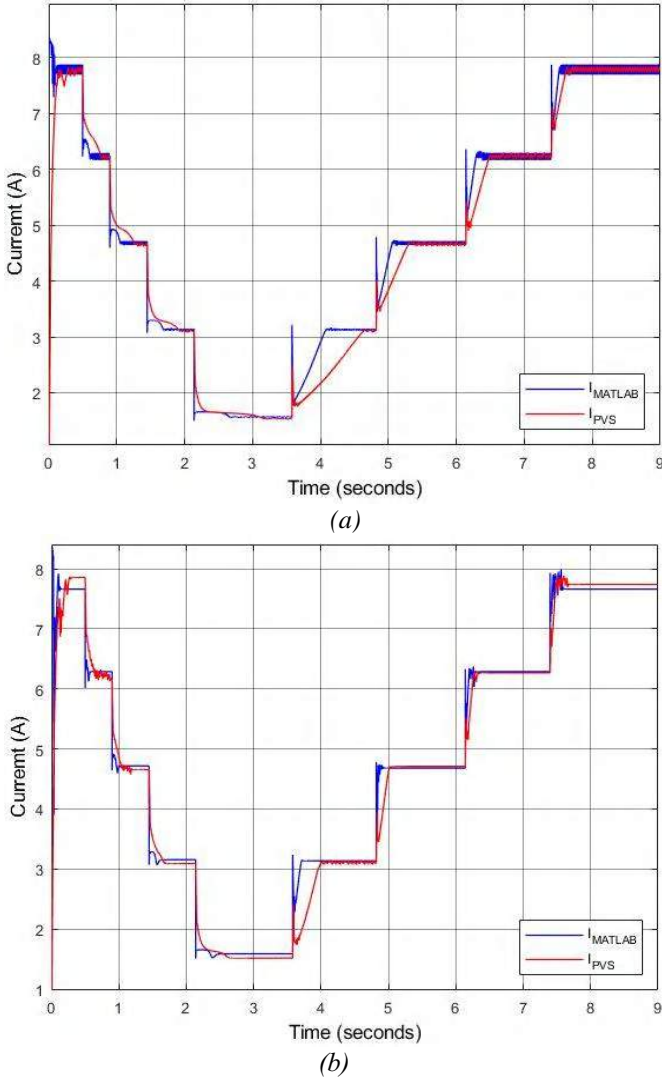


Fig. 8 Current graph of the a) P&O, b) Modified P&O

3.4. DISCUSSION

In this research, a low cost high efficient PVS is designed. The designed PVS shows high efficiency even in the changing irradiance. For more advanced tests, the MPPT algorithm is developed and connected to the system. The PVS has shown promising results using the P&O method. To give better results, the algorithm is modified, and the efficiency increases more than two times. A comparison between the behaviour of the systems before and after modifying the algorithm is presented with the graphics in Fig. 8 and Fig. 9. The advantages and disadvantages of the modified algorithm can be summarized shown in Table 4.

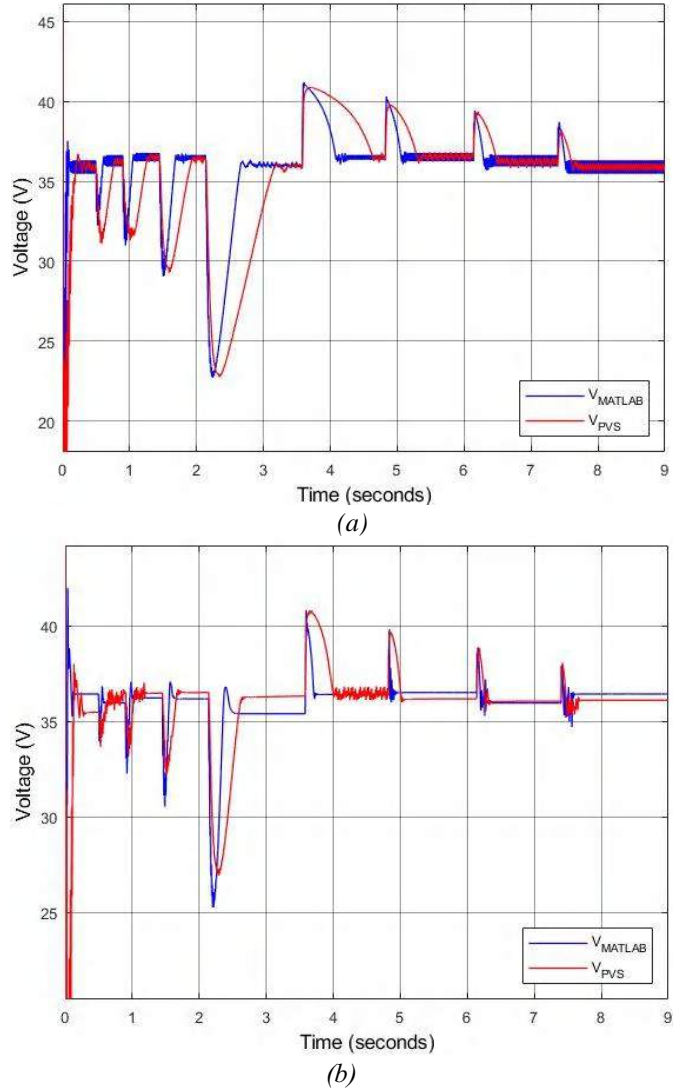


Fig. 9 Voltage graph of the a) P&O, b) Modified P&O

Table 4: Advantages and Disadvantages of the Modified Algorithm

Advantages	Disadvantages
Reach the MPP quickly	Can not stop the ripple in some cases
Stabilizes when it reaches the MPP which stops rippling and stops putting press on electronic elements	False estimation of the MPP in some cases

4. Conclusions and Recommendations

This work is segmented into two parts: designing the simulator and testing it by connecting it to MPPT. The system can be designed with simple electronic circuits like Buck Converter, Op-amps, and microcontrollers. The designed simulator gave very satisfying results in a lot of cases.

P&O method is tested with the PVS, and it is worked without any problems. The classic P&O method is modified, and the efficiency increased by more than 50% for the PVS.

References

- Abdel-Salam, M., El-Mohandes, M. T., & El-Ghazaly, M. (2020). An Efficient Tracking of MPP in PV Systems Using a Newly-Formulated P&O-MPPT Method Under Varying Irradiation Levels. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 15(1), 501–513.
- Ahmad, T., Sobhan, S., & Nayan, Md. F. (2016). Comparative Analysis between Single Diode and Double Diode Model of PV Cell: Concentrate Different Parameters Effect on Its Efficiency. *Journal of Power and Energy Engineering*, 04(03), 31–46.
- Amrouche, B., Belhamel, M., & Guessoum, A. (2007). *Artificial intelligence based P&O MPPT method for photovoltaic systems*.
- Berrera, M., Dolara, A., Faranda, R., & Leva, S. (2009). Experimental test of seven widely-adopted MPPT algorithms. *IEEE Bucharest Power Tech Conference*.
- Boukezata, B., Chaoui, A., Gaubert, J. P., & Hachemi, M. (2016). An improved fuzzy logic control MPPT based P&O method to solve fast irradiation change problem. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(4).
- Delihasanlar, E., Yaylacı, E. K., & Dalcalı, A. (2019). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli, Mevcut Durumu, Teşvikleri, Kurulum Maliyeti Analizi-Karabük İli Örneği. *Electronic Letters on Science & Engineering*, 15(1), 12–20.
- Duc, H. N., Takano, H., Nguyen-Duc, T., Nguyen-Duc, H., & Le-Viet, T. (2020). Single-Diode Models of PV Modules: A Comparison of Conventional Approaches and Proposal of a Novel Model. *Energies*.
- Elgendy, M. A., Zahawi, B., & Atkinson, D. J. (2012). Evaluation of perturb and observe MPPT algorithm implementation techniques. *IET Conference Publications*, 2012(592 CP).
- Ettappan, M., Maheswaran, G., Vimala, V., Somasundaram, K., & Vishnupriyan, J. (2021). Design of Buck Converter and PV Module for Solar Powered Sailing Boat. *Journal of Physics: Conference Series*, 012023.
- Farhat, M., Barambones, O., & Sbita, L. (2016). A Real-Time Implementation of MPPT-Based on P&O Method. *IEEE*.
- Hart, D. (2010). *Power Electronics*. McGraw-Hill Education.
- Kazimierczuk, M. K. (2008). *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*.
- Motahhir, S., el Hammoumi, A., & el Ghzizal, A. (2020). The most used MPPT algorithms: Review and the suitable low-cost embedded board for each algorithm. In *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd.
- Osmani, K., Haddad, A., Lemenand, T., Castanier, B., & Ramadan, M. (2021). An investigation on maximum power extraction algorithms from PV systems with corresponding DC-DC converters. *ELSEVIER*.
- Palanisamy, R., Vijayakumar, K., Venkatachalam, V., Narayanan, R. M., Saravanakumar, D., & Saravanan, K. (2019). Simulation of various DC-DC converters for photovoltaic system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 9(2), 917.
- Rasheed, M., Mohammed, O. Y., Shihab, S., & Al-Adili, A. (2021). A comparative Analysis of PV Cell Mathematical Model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1795(1).
- S. Hiwale, A., V.Patil, M., & Vinchurkar, H. (2014). An Efficient MPPT Solar Charge Controller. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(7), 10505–10511.
- Tamrakar, V., S.C, G., & Sawle, Y. (2015). Single-Diode Pv Cell Modeling And Study Of Characteristics Of Single And Two-Diode Equivalent Circuit. *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal*, 4(3), 13–24.
- Tsuno, Y., Kamisako, K., & Kurokawa, K. (2008). *New Generation of PV Module Rating by LED Solar Simulator - A Novel Approach and Its Capabilities*.
- Watjanatepin, N., & Sritanauthaikorn, P. (2021). Large Scale LED-Modular-Based Solar Simulator and Calibration Method for PV-Module Characterization. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)* , 48(9).
- Yaqoob, S. J., Saleh, A. L., Motahhir, S., Agyekum, E. B., Nayyar, A., & Qureshi, B. (2021). Comparative study with practical validation of photovoltaic monocrystalline module for single and double diode models. *Scientific Reports*, 11(1).



Yöneylem Araştırması Alanında Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi

Özlem Çomaklı Sökmen^{1*}, Mustafa Yılmaz²

^{1*} Erzurum Teknik Üniversitesi, Sürekli Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8765-0038), ozlem.sokmen@erzurum.edu.tr

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2135-5762), mustafay@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012167)

ATIF/REFERENCE: Çomaklı Sökmen, Ö. & Yılmaz, M. (2021). Yöneylem Araştırması Alanında Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 940-946.

Öz

Yöneylem Araştırması (YA) karmaşık problemlerin tanımı, matematiksel olarak modellenmesi, çözümü ve optimal karar verme ile ilgilenen bir disiplindir. Bu araştırmanın amacı Web of Science (WOS) veri tabanında YA ile ilgili yapılan çalışmaların bibliyometrik analizini gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda bu alandaki çalışmaların hangi yıllarda yoğunlaştığı, çalışmalarda en çok hangi anahtar kelimelerin kullanıldığı, özetlerde en fazla geçen kelimelerin neler olduğu ve çalışmaların hangi dilde yayınlandığını ilişkin analizler yapılmıştır. Ayrıca en çok atıf yapılan yazarlar, en çok atıf yapılan ülkeler ve en çok atıf yapılan dergilerin genel profilleri ortaya çıkarılmıştır. WOS veri tabanında araştırma kapsamına giren 6048 çalışma bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmanın verileri 2021 yılı Ekim ayında toplanmıştır. VOSviewer programı kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre araştırmalarda en çok kullanılan anahtar kelimelerin sırasıyla supply chain management (tedarik zinciri yönetimi), operations management (süreç yönetimi), sustainability (sürdürülebilirlik) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Özetlerde en çok kullanılan kelimeler ise time (zaman), problem, cost (maliyet) olarak sıralanmaktadır. Çalışma kapsamındaki çalışmaların yayın dilinin en çok sırasıyla English (İngilizce), Chinese (Çince) ve French (Fransızca) olduğu anlaşılmıştır. En çok ortak atıf alan yazarlar sırayla Ivanov ve Dubey'dir. En çok atıf alan üniversitenin ise Montpellier Business School olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışmaların en çok Science Citation Index Expanded indeksine giren dergilerde yayınlandığı görülmüştür. Alanla ilgili yapılan çalışmaların yıllara göre en çok 2019'da gerçekleştirildiği görülmektedir. En çok atıf alan ülkelerin ise sırayla France (Fransa), USA (Amerika Birleşik Devletleri) ve England (İngiltere) olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçların YA ilgili araştırma yapmak isteyen araştırmacılara genel bir bakış açısı sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yöneylem araştırması, Bibliyometrik analiz, Endüstri mühendisliği, Atıf analizi, Ağ analizi, VOSviewer.

Bibliometric Analysis of the Studies Performed in Operations Research Field

Abstract

Operations Research (OR) is a field concerned with the formulation, mathematical modeling, solution, and optimization of complex problems. This study aims to discover OR publications in the Web of Science (WOS) database to perform bibliometric analysis. To this end, analyses were conducted on the years in which the majority of research in this area was completed, the most frequently used keywords in the studies, the most commonly used terms in the abstracts, and the language in which the papers were published. Also, the most often cited authors, countries, and general characteristics of the most frequently cited journals were uncovered. Of those studies in the WOS database, 6048 studies included in the scope of the research were analyzed using the bibliometric analysis method. The current study's data were collected in October 2021. According to the analysis performed using the VOSviewer software, the most often used terms in the literature are supply chain management, operations management, and sustainability. The most frequently used words in the abstracts are listed as time, problem, cost. The analysis also showed that the publication languages of the studies examined within the scope of the study are mostly English, Chinese and French. The most commonly cited authors are Ivanov and

Dubey, respectively. Montpellier Business School was found to be the most frequently mentioned university. It has been noted that the majority of the studies were published in journals that are part of the Science Citation Index Expanded. According to the years, the majority of studies in this area were performed in 2019. It has been revealed that the most cited countries are France, the USA (United States), and England. The results are expected to offer a groundwork for academics interested in conducting OR.

Keywords: Operations research, Bibliometric analysis, Industrial engineering, Citation analysis, Network analysis, VOSviewer.

1. Giriş

Yöneylem, karmaşık sorunların çözümünde ve incelenmesinde bilimsel ve özellikle matematiksel yöntemlerin uygulanışı; Yöneylem Araştırması (YA) ise; herhangi bir problemi yöneylem yöntemine göre araştıran incelemedir [1].

YA insan, makine, para ve malzemeden oluşan endüstriyel, ticari, kamu, özel ve askeri sistemlerin yönetiminde karşılaşılan problemleri bilimsel yöntem yaklaşımı ile çözmeyi ele alan ve ele aldığı sistemleri geliştirmeyi amaçlayan bir bilim dalıdır. YA bir bilim olarak 1930'ların ikinci yarısında Alman hava kuvvetlerinin saldırılarına karşılık vermek ve askeri operasyonların etkinliğini optimum kılmak amacıyla İngiliz Ordusunda kullanılmaya başlanmıştır [2]. İngiltere'de savaş araç-gereçlerinin daha kısa sürede gemilere yüklenip boşaltılmasını sağlayacak bir yöntem aranmaya başlanmıştır; bu karmaşık problemleri çözmek ve muharebelerdeki etkinliği artırmak farklı bilim dallarından oluşan ekiplerle çalışılmıştır [3]. Söz konusu askeri operasyonlarda bilimsel metotların araştırılması ve uygulanması işlemi Operations Research (Yöneylem Araştırması) olarak adlandırılmıştır.

Genellikle kıt kaynakların dağıtımı ve karar problemleri ile ilgilenen YA, problemlerin optimal veya optimele yakın çözümlerine ulaşmak için bir çok teknik ve bilimsel yöntemi kullanmaktadır. Dolayısıyla YA disiplinler arası bir yaklaşım olup; matematik, mühendislik, istatistik, iktisat gibi birçok alanda karşımıza çıkmaktadır.

YA'nın üç ana özelliği vardır [3]:

- sistem yaklaşımı (bütünleşik yaklaşım),
- disiplinler arası yaklaşım,
- bilimsel yaklaşım.

YA bir problemi ele alırken problemin ait olduğu organizasyonun tüm bileşenlerini gözetmektedir. Bu gözetimi yaparken örgütün çevresini ve bileşenler arasındaki etkileşimi de göz önünde bulundurmaktadır. Çünkü örgütün herhangi bir birimindeki değişiklik tüm birimleri etkileyebilmektedir. Bu sebeple bütünleşik yaklaşımla tüm bileşenlerin incelenmesi gerekir.

YA problemlerinin çoğu matematik, istatistik gibi uzmanlık alanları farklı olan kişilerden oluşan bir ekiple modellenmesi ve çözülmesi gereken karmaşık problemlerdir. Bu da YA'nın disiplinler arası bir yaklaşım olma özelliğini ortaya koymaktadır.

En basit haliyle bilimsel yöntem ise; ele alınan problemlerin çözümünde bir bilimsel yaklaşımın kullanılmasını belirtmektedir. YA'nın kullandığı bilimsel yöntem aşağıda sıralanan adımlardan oluşmaktadır[3]:

1. Problemin belirlenmesi,
2. Gerekli verilerin elde edilmesi,
3. Modelin geliştirilmesi,
4. Modelden çözüm elde edilmesi,
5. Modelin geçerliliğinin test edilmesi
6. Modelin uygulanması ve karar.

II. Dünya Savaşı'nı izleyen ilk yıllarda fazla gelişim gösteremeyen YA, son yıllarda bilim dünyasının en gözde konuları arasında yer almıştır. YA, dünya çapında birçok kuruluşun etkinliğinin ve çok sayıda ülkenin ekonomik verimliliğinin artırılmasında büyük katkılar sağlamıştır [3]. Öyle ki birçok ülke YA'nın gelişimine katkı sağlamak ve endüstride uygulanabilirliğini yaygınlaştırmak için kendi ulusal Yöneylem Araştırması Derneklerini kurmuşlar ve dergi yayınlarını başlatmışlardır.

YA birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretim planlama, toplam kalite yönetimi, malzeme ve envanter yönetimi, taşıma/ulaşım, optimizasyon, benzetim, kaynak planlaması, kriz yönetimi, savunma planlarının oluşturulması, maliyet analizi, karar modelleri, stratejik planlama ve verimlilik analizi bu kapsama giren alanlar arasında sıralanabilir.

YA'da kullanılan teknikler modellerin yapısına göre değişkenlik göstermekle birlikte temel olarak deterministik ve olasılıklı modeller olarak gruplandırılabilir [4]. Deterministik model tipi için doğrusal programlama, tam sayılı programlama, hedef programlama, analitik hiyerarşi süreci, ulaştırma ve atama modelleri, doğrusal olmayan programlama, deterministik dinamik programlama, deterministik stok modelleri, şebeke analizi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Olasılıklı modellerde ise; markov zincirler, kuyruk teorisi, karar analizi, oyun teorisi, simülasyon, tahmin modelleri, olasılıklı stok modelleri, olasılıklı dinamik programlama kullanılan yöntemler arasındadır [3], [4].

YA'nın farklı alanlarda yapılan çalışmalarının bir kısmına bu bölümde yer verilmiştir. Levine and Dunn çalışmalarında sağlık çizelgeleme problemi için YA kullanmışlardır. Hastaların etkin hizmet alması ve verimliliği sağlamak adına hastane genelinde kaynak planlaması oluşturmak için çalışmada dinamik modelleme yöntemleri kullanılmıştır [5]. Molina-Pariente et al. yaptıkları çalışmada ameliyathane çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada ameliyat süresi, acil ameliyatlarda gelişi, cerrah kapasitedeki belirsizlikler nedeniyle problem stokastik bir yaklaşım ile ele alınarak çözüm için Monte Carlo optimizasyon yöntemi önerilmiştir [6]. Davis et al. çalışmalarında böbrek nakillerinde coğrafi kısıtlar kaynaklı, eşitlikçi olmayan atamaların önlenmesi problemini ele almış ve karma tam sayılı doğrusal programlama ile çözüme kavuşturmuştur [7]. Literatürde mühendislik alanında da çok sayıda ulaştırma ve rotalama probleminin çözümünde YA'dan yararlanıldığı görülmektedir. Perrier et al. çalışmalarında kar temizleme operasyonları için bir araç rotalama problemini ele almış ve problemin çözümüne yönelik iki sezgisel çözüm yaklaşımı sunmuşlardır [8]. Filho and Junquera çalışmalarında bir ayırıt rotalama problemi olan Çinli Postacı Probleminin çözüm yöntemini seçmeye yönelik bir algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritma Brezilya'da çöp toplama hizmeti ve postane posta dağıtımı olmak üzere iki lojistik problem vakasında kullanılmıştır [9]. Price and Ostfeld su dağıtım sistemlerinde doğrusal olmayan programlama metodunu kullanarak elektrik işletme maliyetlerinin minimum düzeye indirilebileceğini belirtmişlerdir [10]. Özkan ve Sezen çalışmalarında eğitim sistemi kavramını sistem yaklaşımı ile ele alarak problemlere bu

yaklaşım ile çözüm getirilmesini önermişlerdir [11]. Bunların dışında tarım, bankacılık, tekstil, ormancılık, balıkçılık ve madencilik gibi birçok sektörde de YA tekniklerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [12] - [18].

Görüldüğü üzere literatürde YA ile ilgili oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Fakat Endüstri Mühendisliği alanında günümüze kadar yapılan çalışmalar için YA'yı bibliyometrik göstergeler bakımından ele alan herhangi bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Literatürde disiplinler arası çalışılan konuların bibliyometrik çalışmayla incelenmesi önemlidir. Zira bibliyometrik araştırmayla varılan sonuçlar literatüre genel bir bakış sağlamakta ve bu konuda yapılacak çalışmalarda yönlendirici bir etkiye sahip olacaktır [19]. Bu doğrultuda bu çalışmada YA konusunda yapılan çalışmalarla ilgili aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Doküman türlerinin dağılımı nasıldır?
- Yayın dillerinin dağılımı nasıldır?
- Yayın yıllarının dağılımı nasıldır?
- En çok kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı nasıldır?
- En çok kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı nasıldır?
- En çok atıf alan ülkelerin dağılımı nasıldır?
- En çok atıf alan kurumların dağılımı nasıldır?
- En çok atıf alan dergilerin dağılımı nasıldır?
- En çok atıf alan yazarların dağılımı nasıldır?
- Özetle en çok kullanılan kelimelerin dağılımı nasıldır?
- Özetle en çok kullanılan kelimelerin yıllara göre dağılımı nasıldır?

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma Web of Science (WOS) veri tabanında YA ile ilgili yapılan çalışmaların bibliyometrik analizini kapsamaktadır.

İlk kez 1922'de E. Wyndham Hulme tarafından istatistiksel kaynakça terimi olarak kullanılan bibliyometri; farklı alanlarda yapılmış çalışmaların belirlenen başlıklara göre analiz edilmesi, bu analizler sonucunda ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanmasıdır [20], [21].

Çalışma kapsamında YA ile ilgili çalışmaların bibliyometrik analizini yapmak için WOS veri tabanına "operations research" anahtar kelimesi girilerek veri tabanında bulunan çalışmalara ulaşılmıştır (12 Ekim 2021). Daha sonra ise kategori olarak Endüstri Mühendisliği seçilmiş ve bu kapsamda araştırmanın amacına uygun 6048 çalışma analiz için hazır hale getirilmiştir.

Çalışmadaki analizler VOSviewer programı kullanılarak yapılmıştır. Bu analizlerde; yayın dillerinin ve yıllarının dağılımı, YA alanında yapılan çalışmalarda en çok atıf alan yazar, ülke ve dergilerin dağılımı ve YA konusunda en çok kullanılan anahtar kelimeler ve özetlerde geçen anahtar kelimelerin dağılımı ile ilgili verilere ilişkin sonuçlar tablolar ve görsellerle desteklenerek verilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

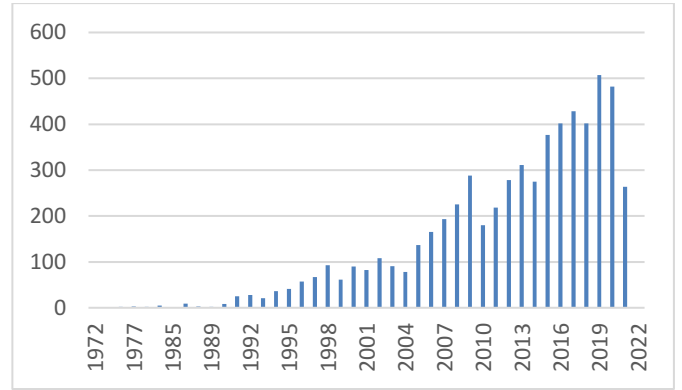
Bu bölümde analiz sonuçlarına göre düzenlenen tablolar, VOSviewer programı aracılığıyla elde edilen görseller ile bunların yorumları yer almaktadır.

3.1. Doküman Türü, Yayın Dili ve Yayın Yıllarına İlişkin Bulgular

Çalışma kapsamında ele alınan 6048 çalışmanın türleri incelendiğinde en çok (f=3349) makale çalışması yapıldığı görülmektedir.

Söz konusu 6048 çalışmanın English (İngilizce) (f=6007); Chinese (Çince) (f=28); French (Fransızca) (f=6); German (Almanca) (f=5); Spanish (İspanyolca) (f=1) ve Welsh (Galce) (f=1) dillerinde yayınlandığı sonucuna varılmıştır.

Konu ile ilgili Endüstri Mühendisliği alanında ilk çalışma 1972 yılında yapılmış olup, araştırma kapsamına giren çalışmaların 2019 (f=507) yılında yoğunlaştığı görülmektedir. Çalışma sayılarının yıllara göre dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma sayılarının yıllara göre dağılımı

3.2. En Çok Atıf Alan Anahtar Kelimelerin Dağılımı

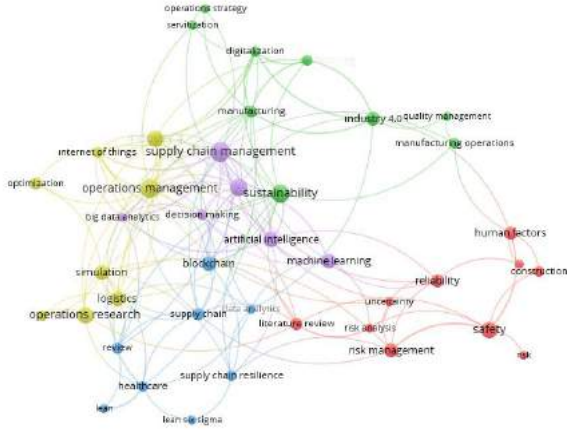
Araştırma kapsamında ele alınan çalışmalarda en çok kullanılan anahtar kelimeler belirlenmiştir. Elde edilen harita Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre en çok kullanılan kelimeler arasında supply chain management (tedarik zinciri yönetimi) (f=21), operations management (süreç yönetimi) (f=19), sustainability (sürdürülebilirlik) (f=18), systematic literature review (sistemik literatür taraması) (f=16), industry 4 (endüstri 4) (f=15) yer almaktadır. YA ile ilgili çalışmalarda en çok kullanılan 14 anahtar kelime Tablo 1'de; en çok kullanılan anahtar kelimelerin ağ yapısı Şekil 2'de ve en çok kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı ise Şekil 3'te sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmalarda en çok kullanılan 14 anahtar kelime

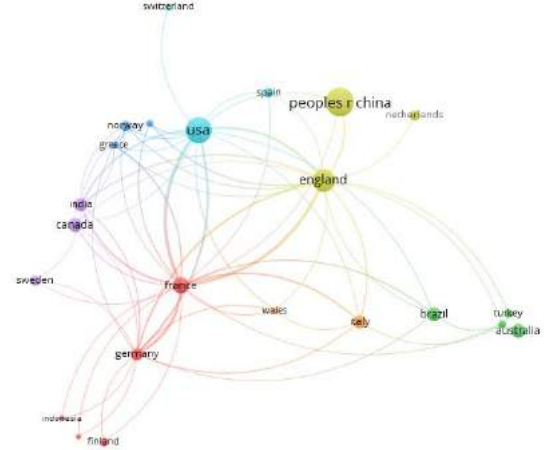
Anahtar Kelime	f	Anahtar Kelime	f
Supply Chain Management (Tedarik Zinciri Yönetimi)	21	Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)	13
Operations Management (Süreç Yönetimi)	19	Logistics (Lojistik)	12
Sustainability (Sürdürülebilirlik)	18	Simulation (Simülasyon)	12
Systematic Literature Review (Sistemik Literatür Taraması)	16	Blockchain (Blok Zincir)	12
Industry 4 (Endüstri 4)	15	Machine Learning	12

		(Makine Öğrenmesi)	
Safety (Güvenlik)	14	Industry 4.0 (Endüstri 4.0)	11
Operations Research (Yöneylem Araştırması)	14	Risk Management (Risk Yönetimi)	11

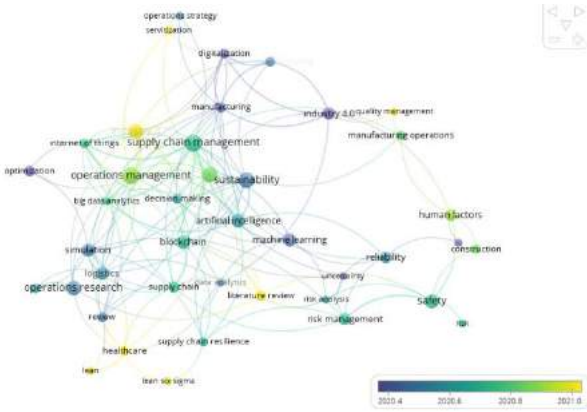
Australia (Avustralya)	29	53
Spain (İspanya)	14	47
Netherlands (Hollanda)	16	33
Portugal (Portekiz)	7	33
Finland (Finlandiya)	13	31
Turkey (Türkiye)	13	30
Wales (Galler)	8	29



Şekil 2. En çok kullanılan anahtar kelimelerin ağ yapısı



Şekil 4. En çok atıf alan ülkelerin ağ yapısı



Şekil 3. En çok kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı

Buna göre ilgili alanda en fazla atıf alan ülkeler arasında France (Fransa) (Atıf sayısı=549, Doküman=40); USA (ABD) (Atıf sayısı=508, Doküman=105) ve England (İngiltere) (Atıf sayısı=348, Doküman=75) gelmektedir.

3.4. En Çok Atıf Alan Kurum ve Dergilerin Dağılımı

Çalışma kapsamında ele alınan çalışmalarda en fazla atıf alan kurumlar arasında Montpellier Business School (Atıf sayısı=181, Doküman =7), The Hong Kong Polytechnic University (Atıf sayısı=52, Doküman =13), Politecnico di Milano University (Atıf sayısı=40, Doküman=10), Loughborough University (Atıf sayısı=24, Doküman =6) ve Shanghai Jiao Tong University (Atıf sayısı=23, Doküman =7) bulunmaktadır.

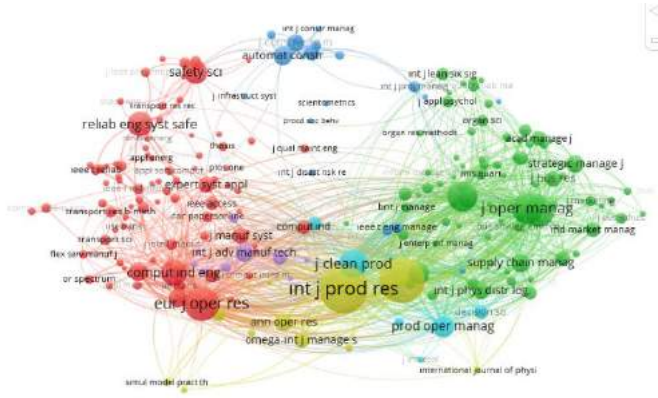
En çok atıf alan dergiler incelendiğinde ise International Journal of Production Research (Atıf sayısı=1441), International Journal of Production Economics (Atıf sayısı=1281), European Journal of Operational Research (Atıf sayısı=762), Journal of Operations Management (Atıf sayısı=595), Production Planning & Control (Atıf sayısı=563) gelmektedir. Bunun yanı sıra VOSviewer programında en çok atıf alan dergiler için oluşturulan ağ yapısı Şekil 5'te gösterilmiştir.

3.3. En Çok Atıf Alan Anahtar Ülkelerin Dağılımı

Çalışma kapsamında ele alınan çalışmalarda en çok atıf alan ülkeleri belirlemek için VOSviewer yazılım aracında bibliyometrik ağ yapıları elde edilmiştir. Buna göre çalışma kapsamında en çok atıf alan ülkeler Tablo 2'de; oluşturulan harita ise Şekil 4'te sunulmuştur.

Tablo 2. Doküman ve yayın atıflarına göre ülkeler

Ülke	Doküman	Atıf sayısı
France (Fransa)	40	549
USA (ABD)	105	508
England (İngiltere)	75	348
Germany (Almanya)	24	339
China (Çin)	120	308
Italy (İtalya)	26	126
India (Hindistan)	26	105
Canada (Kanada)	28	76
Sweden (İsveç)	17	71
Brazil (Brezilya)	31	63
Austria (Avusturya)	5	58
Norway (Norveç)	17	53



Şekil 5. En çok atıf alan dergilerin ağ yapısı

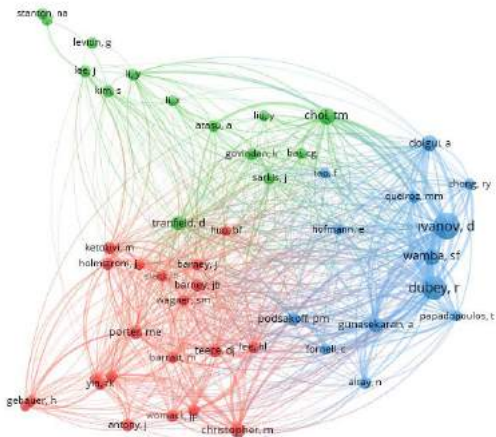
Çalışmaların en çok Science Citation Index Expanded (f=3413) indeksine giren dergilerde yayımlandığı dikkat çekmiştir.

3.5. En Çok Atıf Alan Yazarların Dağılımı

En çok atıf alan yazarlar için yapılan analiz sonuçlarına göre Ivanov (Atıf sayısı=127), Dubey (Atıf sayısı=100), Choi (Atıf sayısı=50), Wamba (Atıf sayısı=48), Dolgui (Atıf sayısı=46) gibi araştırmacılar ilk sıralarda yer almaktadırlar. Çalışma kapsamında en çok atıf alan 20 yazar Tablo 3'de, ilgili ağ yapısı ise Şekil 6'da sunulmuştur.

Tablo 3. En çok atıf alan yazarlar

Yazar	Atıf sayısı	Yazar	Atıf sayısı
Ivanov	127	Porter	33
Dubey	100	Yin	28
Choi	50	Antony	28
Wamba	48	Barney	27
Dolgui	46	Ketokivi	27
Christopher	42	Holmstrom	27
Gunasekaran	38	Queiroz	26
Tranfield	34	Altay	25
Podsakoff	33	Atasu	25
Teece	33	Govindan	25



Şekil 6. En çok atıf alan yazarlara ilişkin ağ yapısı

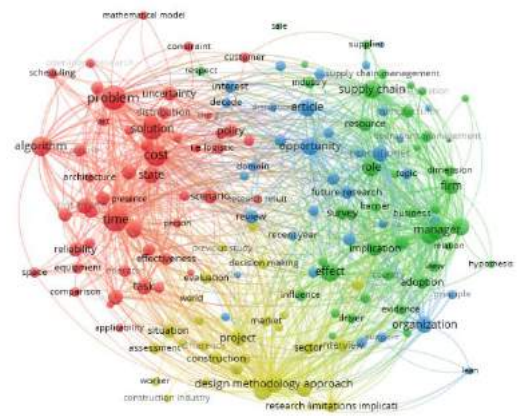
3.6. Özet Kısmında En Çok Kullanılan Kelimelerin Dağılımı

Çalışmanın bu bölümünde özetinde en sık kullanılan kelimeler için analiz yapılmıştır. Buna göre özetinde en sık kullanılan 16

kelime Tablo 4'te; yine özet kısmında en çok kullanılan kelimeler için oluşturulan ağ yapısı ise Şekil 7'de verilmiştir.

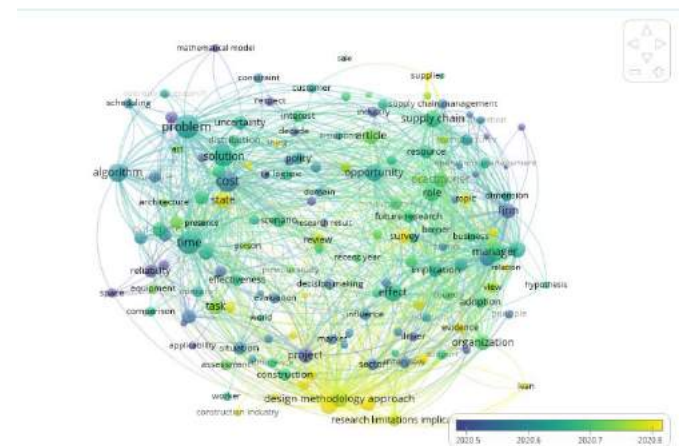
Tablo 4. Özetinde en sık kullanılan kelimeler

Kelime	f	Kelime	f
Time (Zaman)	104	Effect (Etki)	67
Problem	103	Algorithm (Algoritma)	64
Cost (Maliyet)	82	Relationship (İlişki)	62
Solution (Çözüm)	76	Opportunity (Fırsat)	62
Design Methodology Approach (Tasarım Metodolojisi Yaklaşımı)	76	Role (Rol)	61
Originality Value (Özgünlük Değeri)	74	Article (Makale)	57
Manager (Yönetici)	72	Theory (Teori)	56
Supply Chain (Tedarik Zinciri)	67	Practitioner (Uygulayıcı)	56



Şekil 7. Özetinde en çok kullanılan kelimelere ilişkin ağ yapısı

Ayrıca özet kısmında en çok kullanılan kelimelerin yıllara göre dağılımı Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. Özetinde en çok kullanılan kelimelerin yıllara göre dağılımı

Bu çalışmada YA ile ilgili Endüstri Mühendisliği alanında yapılan 6048 çalışmaya ulaşılmış ve VOSviewer programı aracılığıyla bu çalışmaların bibliyometrik analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan YA ile ilgili çalışmalar çeşitli

değişkenler açısından değerlendirilmiştir. İlgili literatür incelendiğinde bu alanda çok sayıda çalışma bulunmasına karşın daha önce YA'nın 1972'den günümüze kadar Endüstri Mühendisliği kategorisinde yapılmış araştırmaları için bibliyometrik analizi ile ilgili bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Dolayısıyla bu çalışmanın ilgili alanda yapılan ilk çalışma olması, elde edilen sonuçların gelecekte bu konuda çalışma yapacak olan araştırmacılara yol göstermesi ve katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

4. Sonuç

Endüstri Mühendisliğinin temel konularından biri olan ve genellikle gerçek hayat problemleri ile ilgilenen YA günümüzde birçok sektörde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada YA ile ilgili WOS veri tabanındaki 6048 çalışmanın VOSviewer programı ile bibliyometrik analizi yapılmıştır. Bibliyometrik analiz, bilimsel veri tabanlarındaki kodlanmış bibliyografik bilgileri, yayın ve alıntı verilerindeki eğilimleri, yazarların, kurumların ve ülkelerin alanın gelişimine katkısı ve aralarındaki bilimsel işbirlikçi ağları ve yayınların dergiler arasında dağılımını incelemek için kullanılmaktadır [22]. Bu çalışmada YA alanında çalışma yapan araştırmacıların bu konuya katkı düzeyleri, bu alanda yapılan yayınların yıllara göre dağılımı, yayın dilleri, hangi yazarların, ülkelerin, dergilerin ve kurumların en fazla atıf aldığı ve konuya daha fazla eğildiği ortaya konulmuştur. Ayrıca en çok atıf alan anahtar kelimeler ve özetle en sık geçen kelimeler saptanarak bunların yıllara göre dağılımı da incelenmiştir.

Bu kapsamda ilk olarak doküman türleri incelendiğinde toplam çalışmaların %55'inin makalelerden oluştuğu görülmektedir. En çok kullanılan yayın dili ise %99 oranla English (İngilizce)dir. Bu durumun İngilizcenin uluslararası araştırma ve akademik yayıncılık dili olarak kabul edilmesinden kaynaklandığı söylenebilir [19],[23].

Çalışma kapsamında veri tabanındaki ilk çalışma 1972 yılında yapılmıştır. Son yıllarda yapılan çalışma sayılarında artış olduğu söylenebilir. Çalışmalarda en çok kullanılan anahtar kelimeler arasında supply chain management (tedarik zinciri yönetimi), operations management (süreç yönetimi), sustainability (sürdürülebilirlik) gibi YA ile ilgili kelimelerin yer aldığı saptanmıştır. Keza çalışmalarda kullanılan anahtar kelimeler çalışma alanı ve içeriğine uygun olmalıdır.

Çalışma kapsamında en çok atıf alan yazarlar 127 ve 100 atıfıyla sırasıyla Ivanov ve Dubeydir. Söz konusu yazarların alana yön veren çalışmalar yaptıkları söylenebilir. YA ile ilgili yapılan çalışmaların en çok atıfta bulunduğu dergi 1441 atıf ile International Journal of Production Research dergisidir. Bu dergiyi sırasıyla 1281 atıfıyla International Journal of Production Economics ve 762 atıfıyla European Journal of Operational Research dergileri izlemektedir. Bu dergilerin YA alanı için akademik olarak önemli olduğu söylenebilir.

Bu çalışmanın YA ile ilgili araştırma yapacak olan araştırmacılar için genel bir çerçeve sunması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan yola çıkarak sonraki çalışmalar için bir takım öneriler sunulabilir:

- Bu alanla ilgili farklı veri tabanlarındaki çalışmalar analizlere dahil edilerek incelenebilir.
- Citespace, Gephi, R Studio gibi farklı haritalama ve görselleştirme programları kullanılarak daha farklı analizler yapılabilir.

- Araştırmacılar, YA ile ilgili yapacakları çalışmalarda bu çalışmanın sonuçlarından faydalanarak YA alanında yapılan bibliyometrik analizlerden elde edilen sonuçlara göre çalışmalarına yön verebilirler.
- Bu alanda en sık kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı incelenerek YA'nın güncel konuları ile ilgili bilgi edinilebilirler.
- Ayrıca alandaki boşluklar tespit edilerek ilerleyen süreçte yapılması planlanan çalışmalar için katkı sağlanabilir.

Kaynakça

- [1] Kurumu, T.D. (2021). Türk dil kurumu sözlükleri. Erişim adresi: <https://sozluk.gov.tr>.
- [2] Öztürk, A. (2013). Yöneylem Araştırmasının Tarihi Gelişimi ve Özellikleri. *Alphanumeric Journal*, 1(1), 1-11.
- [3] Demirer, Ö., & Alkan, R.M. (2015). Mühendislik Uygulamalarında Yöneylem Araştırması Tekniklerinin Kullanımı. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- [4] Taha, H.A. (2007). Yöneylem Araştırması, 6. basım. Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- [5] Levine, W.C., & Dunn, P.F. (2015). Optimizing Operating Room Scheduling. *Anesthesiology Clinics*, 33(4), 697-711.
- [6] Molina-Pariente, J.M., Hans, E.W., & Framinan, J.M. (2018). A stochastic approach for solving the operating room scheduling problem. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30(1), 224-251.
- [7] Davis, A.E., Mehrotra, S., Friedewald, J.J., Daskin, M.S., Skaro, A.I., Abecassis, M.M., & Ladner, D.P. (2015). Improving geographic equity in kidney transplantation using alternative kidney sharing and optimization modeling. *Medical Decision Making*, 35(6), 797-807.
- [8] Perrier, N., Langevin, A., & Amaya, C. A. (2008). Vehicle routing for urban snow plowing operations. *Transportation Science*, 42(1), 44-56.
- [9] Godinho Filho, M., & Ribeiro Junqueira, R. D. A. (2010). Chinese Postman Problem (CPP): solution methods and computational time. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 7(3), 324-344.
- [10] Price, E., & Ostfeld, A. (2013). Iterative linearization scheme for convex nonlinear equations: application to optimal operation of water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(3), 299-312.
- [11] Özkan, E., & Sezen, H. K. (2017). Toplum için yöneylem araştırması: Eğitimin yönetiminde sistem yaklaşımı uygulaması. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 36(1), 83-109.
- [12] Asan, Ü. (1980). Yöneylem araştırma metodlarının ormancılıkta kullanılabileceği ve bazı uygulama alanları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 30(2), 184-195.
- [13] Topuz, E., & Nasuf, E. (1991). Madencilik Endüstrisinde Yöneylem Araştırması Uygulamaları. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 30(2), 15-20.
- [14] Pamukçu, D. (2002). Kuyruk teorisinin bir bankanın çağrı merkezi için uygulaması. Doktora tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- [15] Daşdemir, İ., & Güngör, E. (2002). Çok boyutlu karar verme metotları ve ormancılıkta uygulama alanları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 4(4), 1-19.
- [16] Ertuğrul İ. (2005). Bulanık Hedef Programlama ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama Örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2), 45-78.
- [17] Bjørndal, T., Herrero, I., Newman, A., Romero, C., & Weintraub, A. (2012). Operations research in the natural resource industry. *International Transactions in Operational Research*, 19(1-2), 39-62.
- [18] Carravilla, M. A., & Oliveira, J. F. (2013). Operations research in agriculture: Better decisions for a scarce and uncertain world. *The Journal of Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 5(2), 37-46.
- [19] Sökmen, Y., & Nalçacı, A. (2020). A Bibliometric Analysis of the Articles about Values Education. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 12(2), 720-735.
- [20] Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics. *Journal of documentation*, 25(4), 348-349.
- [21] Erturgut, R., & Yılmaz, B. (2020). Afet ve insani yardım lojistiği alanında yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (40), 105-123.
- [22] Andrés, A. (2009). *Measuring academic research: How to undertake a bibliometric study*. 1st ed., Oxford: Chandos Publishing.
- [23] Bocanegra-Valle, A. (2014). 'English is my default academic language': Voices from LSP scholars publishing in a multilingual journal. *Journal of English for Academic Purposes*, 13, 65-77.



Bibliometric Analysis of the Literature on Marine Mucilage

Taha Talip Türkistanlı^{1*}, Coşkan Sevgili², Ömer Arslan²

^{1*} Mersin University, Faculty of Maritime, Maritime Transportation and Management Engineering, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4903-6138), t.turkistanli@hotmail.com

² Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, Department of Marine Transportation Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3929-079X), coskan.sevgili@deu.edu.tr

² Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, Department of Marine Transportation Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0623-6714), omer.arslan@deu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012189)

ATIF/REFERENCE: Türkistanlı, T., Sevgili, C. & Arslan, Ö. (2021). Bibliometric Analysis of the Literature on Marine Mucilage. *European Journal of Science and Technology*, (28), 947-958.

Abstract

Marine mucilage or sea snot is one of the intensely seen environmental problems that increase with the global warming and pollution. In recent years, marine mucilage that especially occurs in inland seas and gulfs has increased both in incidence and intensity in Turkish seas. In this context, this study aims to provide benefits to researchers who will work in this field by analyzing the literature on marine mucilage. A total of 108 academic publications indexed on "Web of Science" database on marine mucilage were analyzed by text mining and bibliometric analyzes using the Vosviewer 1.6.17 program. Analysis results about authors, institutions, and countries of the authors, keywords, citations, abstracts, and regions of the research are presented with descriptive statistics and visual graphics. Findings show that most studies on marine mucilage are published by Italian researchers and researchers at the Rudjer Boskovic Institute (Croatia). When the keywords were analyzed, it was seen that the most frequently used words were "mucilage" and "Adriatic Sea". Text mining conducted on the abstracts of the publications showed the most striking and interacting words as "species", "production" and "summer". As a comprehensive literature review on this subject, this study could act as a starting point for researchers who will work in this field.

Keywords: Mucilage, Sea Snot, Mucilage Aggregation, Adriatic Sea, Bibliometric Analysis

Deniz Müsilajına İlişkin Literatürün Bibliyometrik Analizi

Öz

Deniz müsilajı veya deniz salyası, küresel ısınma ve kirlilikle birlikte artan, yoğun görülen çevre problemlerinden biridir. Özellikle iç sularda ve körfezlerde meydana gelen deniz müsilajı son yıllarda, Türkiye denizlerinde de görülme sıklığı ve yoğunluğu artmıştır. Bu bağlamda, bu çalışma deniz müsilajı ile ilgili literatürü analiz ederek bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara fayda sağlamayı amaçlamaktadır. "Web of Science" veri tabanında deniz müsilajı ile ilgili indekslenen toplam 108 akademik yayın, Vosviewer 1.6.17 programı kullanılarak metin madenciliği ve bibliyometrik analizlerle analiz edilmiştir. Yazarlar, yazarların kurumları ve ülkeleri, anahtar kelimeler, alıntılar, özetler ve araştırmanın bölgeleri ile ilgili analiz sonuçları betimsel istatistikler ve görsel grafiklerle sunulmaktadır. Bulgular, denizdeki müsilaj üzerine yapılan çalışmaların çoğunun İtalyan araştırmacılar ve Rudjer Boskovic Enstitüsü'ndeki (Hırvatistan) araştırmacılar tarafından yayınlandığını göstermiştir. Anahtar kelimeler incelendiğinde en sık kullanılan kelimelerin "müsilaj" ve "Adriyatik Denizi" olduğu görülmüştür. Yayınların özetleri üzerinde yapılan metin madenciliği, en çarpıcı ve etkileşimli sözcüklerin "tür", "üretim" ve "yaz" olduğunu göstermiştir. Bu konuda kapsamlı bir literatür taraması olarak bu çalışma, bu alanda çalışacak araştırmacılar için bir başlangıç noktası olabilir.

Anahtar Kelimeler: Müsilaj, Deniz Salyası, Müsilaj Toplama, Adriyatik Denizi, Bibliyometrik Analiz

1. Introduction

Mucilage is a gel-like structure formed by the combination of different environmental conditions and sea creatures such as phytoplankton and microalgae [1]-[3]. This structure, also known as marine snow or sea snow, occurs in calm, unmixed marine environments as a result of the disruption of production and consumption balance [1], [2], [4]. Studies list many reasons for marine mucilage. Some of these can be listed excessive proliferation of marine organisms, the complete disappearance of small fish species, the lack of proper agricultural practices, the discharge of city wastewater into the sea without treatment, the mixing of factory wastes into the water, and the increase in the average temperature in the seas [1], [5]. This gel-like structure, which is formed by many triggers, causes economic losses through fishing and tourism, as well as ecological and sociological losses [2], [5].

Marine mucilage, which was first seen in the Adriatic Sea in the 1700s [6], [7], was later seen in many seas [3], [8]. Since then, many studies [6], [7], [9]-[13] have been carried out on mucilage, from researching the main causes of mucilage to spreading. There are even studies of synthetic mucilage obtained in the laboratory environments [14]-[16].

With this study, the studies carried out in the literature were examined and their relations with each other, the countries, authors, journals and institutions that made the most publication, the most used words, and relationship networks, and which authors worked in this field were examined. Thus, an attempt was made to assist future studies. In addition, with the information it contains, it is possible to show the most studied parts to the authors who want to work in this field and to notice the less studied areas.

2. Materials and Method

In order to analyze literature on marine mucilage, Web of Science (WOS) database was used in September 2021. All of the index criteria in the database (SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI, BKCI-SSH, BKCI-S) was included in the searches. To determine all publications related to this study, the time span was not selected in the database. The literature search terms were applied as; theme= (marine) AND (mucilage) AND (sea) in topics. Searches done with "topic" include title, abstract, author keywords, and keywords plus. The data was extracted from WOS database as a text file (*.txt) and imported to VOSviewer software.

VOSviewer is a Java-based computer program developed for creating, visualizing, and exploring bibliometric maps of science. It creates maps based on related data and for visualizing and exploring the maps [17], [18]. Publication maps, country maps, journal maps, keyword maps are some of the maps created by the software. Software permits adjustment of the frequency of keywords in the dataset as desired and keywords with a low frequency can be removed from analysis if wants. Also, VOSviewer makes data mining analyses such as mining abstracts of publications and grouping articles [19].

VOSviewer was used for analyzing and visualizing keywords, citations, authors, institutions, and countries of authors in this study. In addition, relationships and relevancies in abstracts of publications were analyzed with the data mining approach. More detailed reviews on the methods and study areas were then conducted manually.

3. Findings

Database search with given keywords was resulted in 250 articles found on to mucilage subject. These articles were then analyzed extensively according to their subject and field. Out of 250 articles, 142 were found to have weak relevance or no direct connection to marine mucilage. This result was expected as it was due to the use of broader search terms to not overlook any relevant studies in the searches. Therefore, an elimination process was carried out and articles that are not related to marine mucilage were excluded from the data set. Thus, the final dataset consists of 108 publications on marine mucilage.

3.1.1. Findings on the Publication Years

There is a total of 108 studies conducted between the years 1993 and 2021 (Figure 1). Even though there are studies on marine mucilage before 1993 our limits on methods and therefore data do not include those publications.

The distribution of marine mucilage publications displays sudden spikes between specific years. The first major increase in studies is seen between the years 1994 and 1997. This was then followed by an abrupt increase in 2005. The highest study count after these years was in 2016. We see a downtrend following the year 2016. Study counts keep declining past these peak years and even dropping below two articles for a year, only to climb back up for another time period. This finding indicates that studies seem to increase with potential mucilage outbreaks.

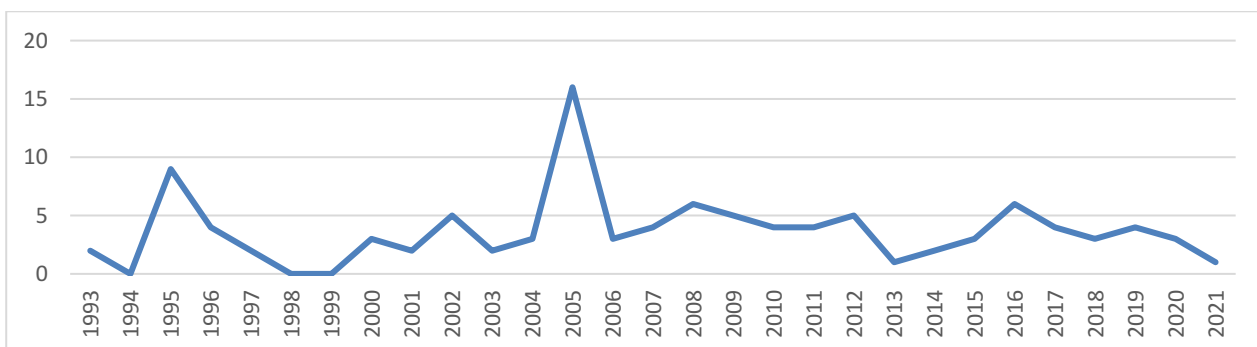


Fig. 1 Distribution of articles by year of publication

Table 1. Analysis Results of Authors

Name of Author	Number of Publications	Number of Citations	Average Citations per Publication	Total Link Strength
Giani, M.	9	294	32.7	29
Mecozzi, M.	9	214	23.8	16
Urbani, R.	8	191	23.9	28
Sist, P.	8	215	26.9	24
Umani, S.F.	8	294	36.8	19
Berto, D.	6	122	20.3	21
Svetlicic, V.	6	140	23.3	19
Zutic, V.	6	140	23.3	19

3.1.2. Findings on the Authors of the Publications

In the analysis of the authorship of the publications, we set a limit of minimum three publications per author. Therefore, only the authors with three or more publications are included in the analysis. This was done for a cleaner presentation of the findings.

We determined the authors who published the most on the subject as, Giani M. and Mecozzi, M. with 9 publications and Urbani, R., Sist, P. and Umani, S. F. with 8 publications respectively (Table 1). According to analysis results, the most cited author was Herndl, G. J. with 367 citations through 3 publications. Giani, M. has the highest total link with 29 links. Total links between authors are shown in Figure 2.

3.1.3. Findings on the Countries of Publications

It was seen that publications about marine mucilage have been mostly conducted by authors from Italy. This is respectively followed by Croatia and France. The publications from Italy have also the highest number of citations received. Although the number of publications from Austria is relatively lower than other countries, the number of citations these studies get is ranked in the third place when compared to others (Table 2). It is observed that the publications on marine mucilage from the USA and Austria were mostly before the year 2010. It is seen that the publications from Italy, Croatia, and France were mostly made around the 2010s. In addition to these, it has been found out that studies from Turkey and Greece have only started to focus on this subject in the recent years (Figure 3b).

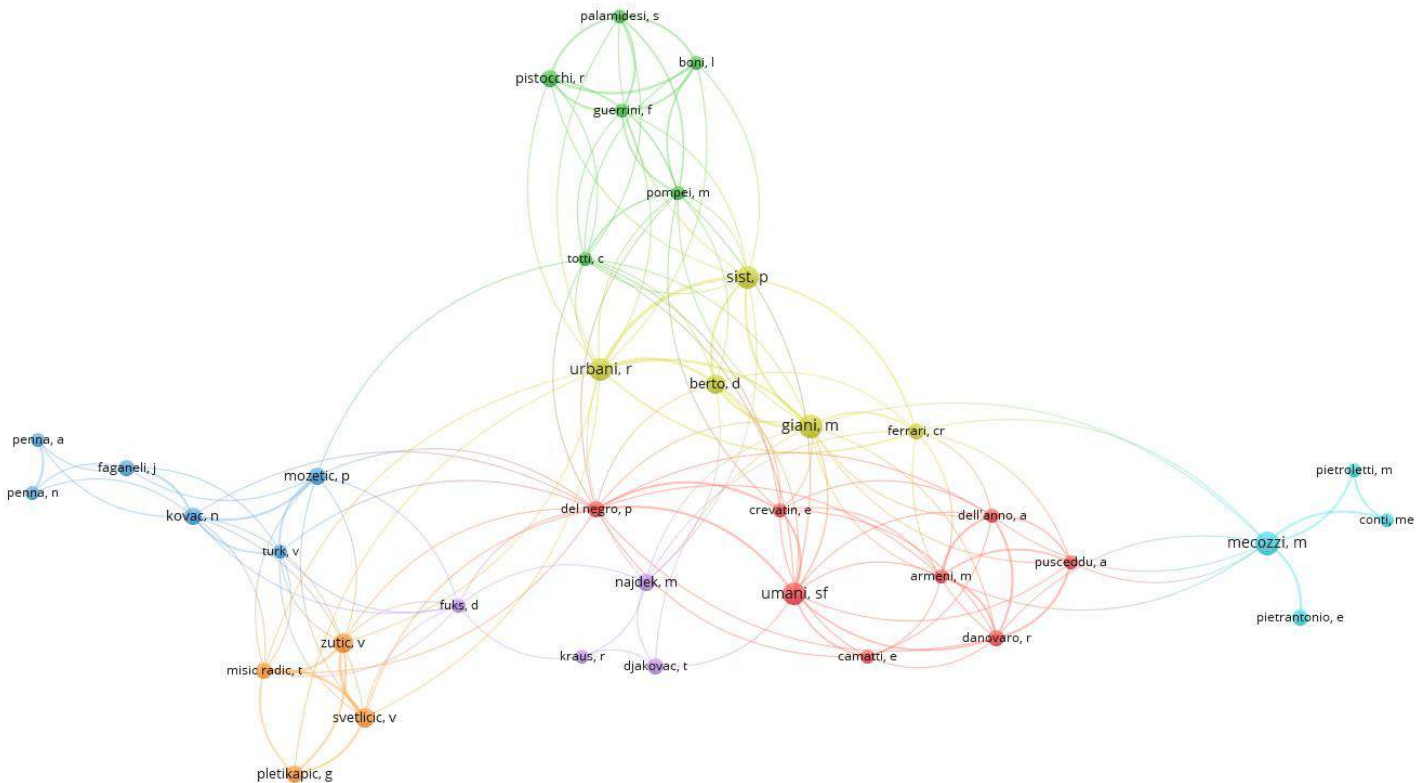


Fig. 2 Mapping the co-authorship on marine mucilage

Table 2. Analysis Results of Countries of Publications

Country	Number of Publications	Number of Citations	Average Citations per Publication	Total Link Strength
Italy	58	1198	20.7	16
Croatia	21	545	26.0	10
France	8	172	21.5	3
Slovenia	7	85	12.1	9
USA	6	158	26.3	8
Greece	5	65	13.0	6
Turkey	5	55	11.0	4
Spain	3	70	23.3	5
Austria	3	367	122.3	2
Canada	3	260	86.7	1

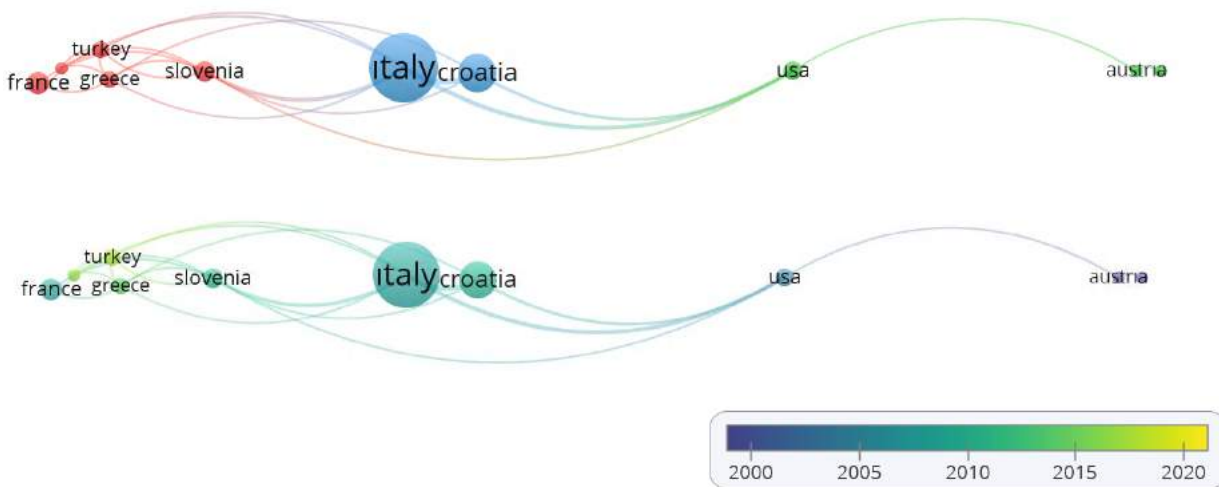


Fig. 3.a Mapping the countries of publications on marine mucilage

3.b Mapping the distribution of the publications of the countries by years

Table 3. Analysis Results of Institutions of Publications

Institutions/Organization	Number of Publications	Number of Citations	Average Citations per Publication	Total Link Strength
Rudjer Boskovic Institute	17	465	27.4	7
Univ. Trieste	14	395	28.2	23
CNR	11	376	34.2	13
Univ. of Bologna	7	137	19.6	8
Ist Cent. Ric. Sci & technol Applicata	7	158	22.6	3
Natl. Inst. Biol.	6	80	13.3	3
Ist. Nazl. Oceanog & Geofis Speriment.	5	171	34.2	12
Univ. Politecn. Marche	5	104	20.8	10
ICRAM	5	201	40.2	8
Ctr. Ric. Marine	4	117	29.3	8
Univ. Florence	4	51	12.8	6
Marine Protected Area Tavolara P.	4	15	3.8	5
Univ. Genoa	4	34	8.5	2
İstanbul Univ.	4	50	12.5	2

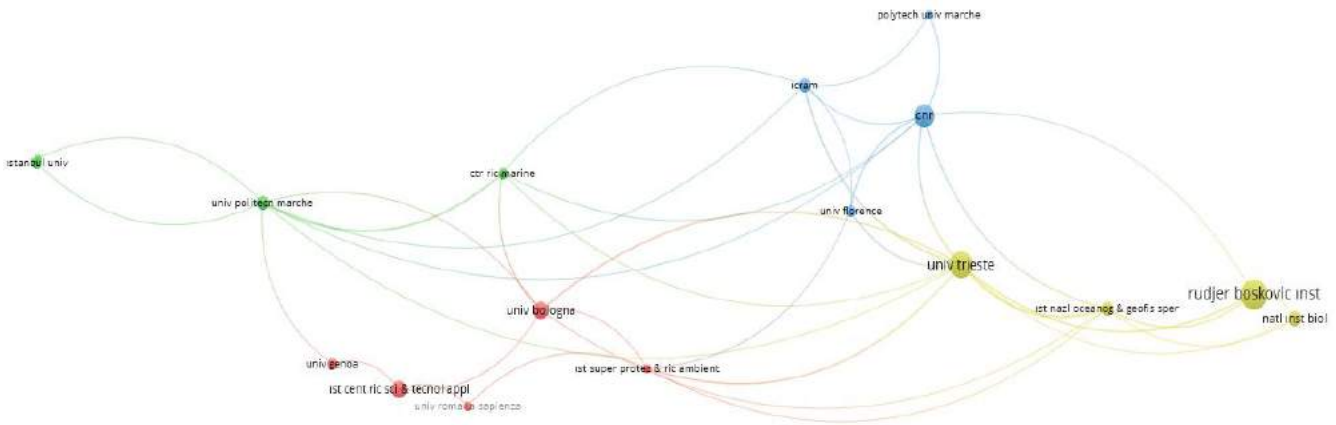


Fig. 4 Mapping on co-authorship of organizations related to marine mucilage

3.1.4. Findings on the Institutions (Organization) of the Authors

The affiliated organization of the authors that publishes the most on marine mucilage is the Rudjer Boskovic Institute. Authors from this institute have a total of 17 publications and 465 citations averaging 27.3 citations per article. The University of Trieste, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), University of Bologna are other organizations that publish the most with an average of 28.2 and 34.2 citations per article. Although the publication numbers of the ICRAM and Ist. Nazl. Oceanog & Geofis Speriment are considered relatively low, it was seen that their citation numbers and the average citations per article (40 and 34.2) are quite higher (Table 3). Mapping on co-authorship of the organizations is shown in Figure 4.

3.1.5. Findings on the Keywords

The Analysis of the keywords conducted on the 108 publications shows that the most frequently used keywords are "mucilage", "Adriatic Sea" and the "Northern Adriatic Sea". It should also be noted that the "Adriatic Sea" and "Northern Adriatic Sea" are often used as synonyms in these studies. Therefore another most frequently used keyword would be "Mediterranean Sea". In addition to that, due to the high occurrence of Mediterranean and Tyrrhenian Sea as keywords, it can be deduced that the Mediterranean Sea is one of the most significant keywords in the subject of marine mucilage. The country and organization of the authors also coincide with this finding. The other most used keywords and their total link strength are shown in Table 4.

Table 4. Analysis Results of Keywords

Keyword	Occurrence	Total Link Strength
Mucilage	26	25
Adriatic Sea	14	13
Northern Adriatic Sea	12	10
Mediterranean Sea	9	5
Phytoplankton	9	5
Nutrients	8	7
Tyrrhenian Sea	6	9
Humification	5	7
Marine Mucilage	5	3
Cylindrotheca Closterium	5	2

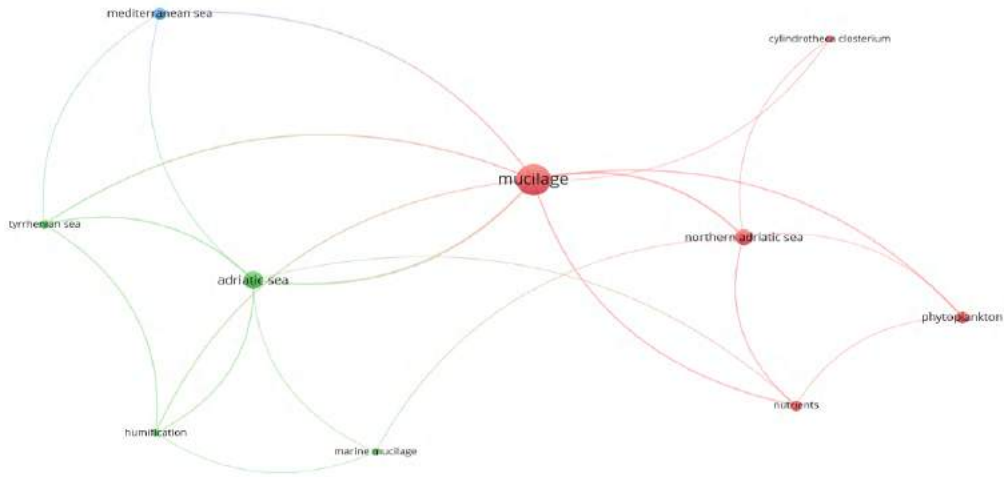


Fig. 5 Mapping on the co-occurrence of keywords related to marine mucilage

3.1.6. Findings on the Citations and Publication Count

The In this study, the analysis of citations was made over the journals in which the articles were published. Science of the Total Environment is the most-cited journal with a total of 1208 citations on 22 publications, averaging 26.5 citations per article (Table 5). Marine Ecology Progress Series also stands out among the most cited journals. When the publication citation rate is examined, the journal with the highest average is the Marine Ecology Progress Series with an average of 76.2 citations per article. Following this, Science of the Total Environment has 54.9 average publication citation rate. Likewise, Science of the Total Environment has the highest total link strength with 69 among the journals. The distribution of citations among the journals by the years and their total link strength can be seen in Figure 6.

3.1.7. Findings on the Citations of the Authors

The citation count of the authors was also analyzed in the research. To ease the analysis process and to present cleaner data; a limit of minimum 35 citations per publication has been set. According to analysis results, articles of Myklesstad (1995) [28], Obernosterer & Herndl (1995) [29] and, Thornton (2002) [32] are the most cited publications. The work of Myklesstad (1995) was cited 386 times and while being one of the early papers on the subject. This seems pattern seems to follow other highly cited research. Obernosterer & Herndl (1995) [29] got 242 and Thornton (2002) [32] got 179 citations which both take place in the early years of our dataset.

Table 5. Analysis Results of Citations by Journals

Journals	Number of Citations	Number of Publications	Average Citations per Publication	Total Link Strength
Science of the Total Environment	1208	22	54.9	69
Marine Ecology Progress Series	381	5	76.2	12
Estuarine Coastal and Shelf Science	166	5	33.2	7
Marine Chemistry	160	7	22.9	40
Marine Environmental Research	65	3	21.7	16
Harmful Algae	47	3	15.7	12

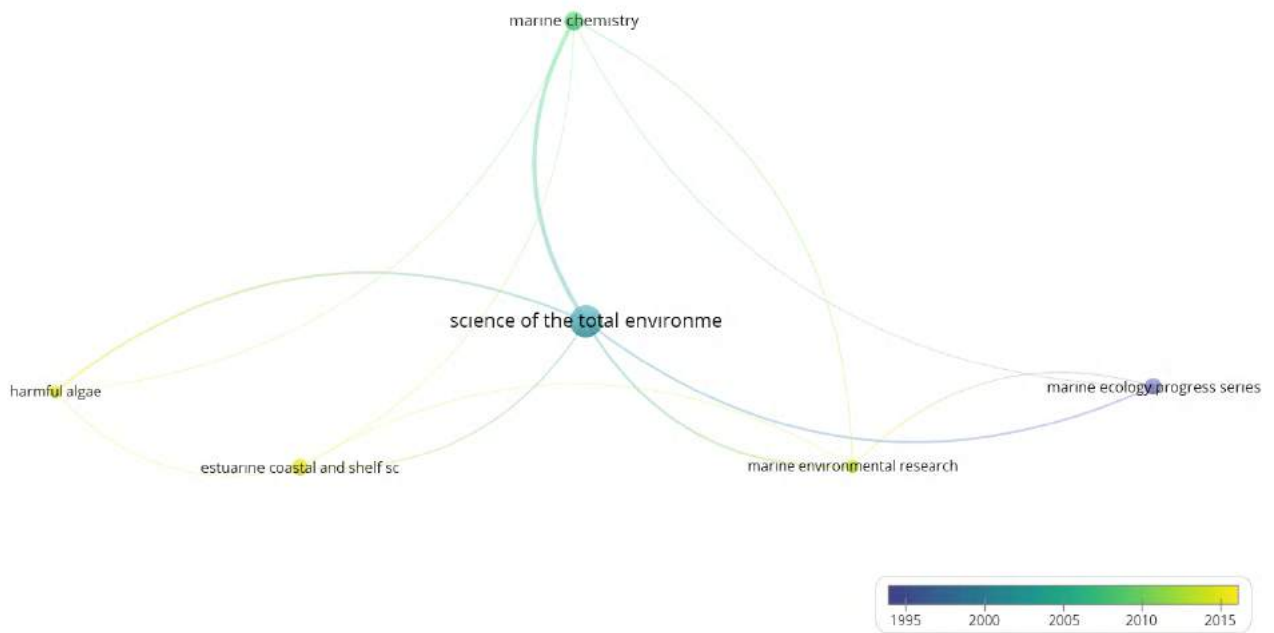


Fig. 6 Mapping on citations of journals by year

Table 6. Analysis Results of Citations by Authors

Authors	Number of Citations	Total Link Strength
Myklestad (1995)	386	5
Obernosterer & Herndl (1995)	242	7
Thornton (2002)	179	2
Leppard (1995)	134	5
Giani (2012)	134	2
Alcoverro (2000)	80	6
Magaletti (2004)	77	5
Danovaro (2009)	70	8
Rinaldi (1995)	69	8
Decho (1995)	68	6
Baldi (1997)	65	6
Allredge (1995)	57	4
Heissenberger (1996)	57	3
Zaccone (2002)	52	1
Pletikapic (2012)	51	2

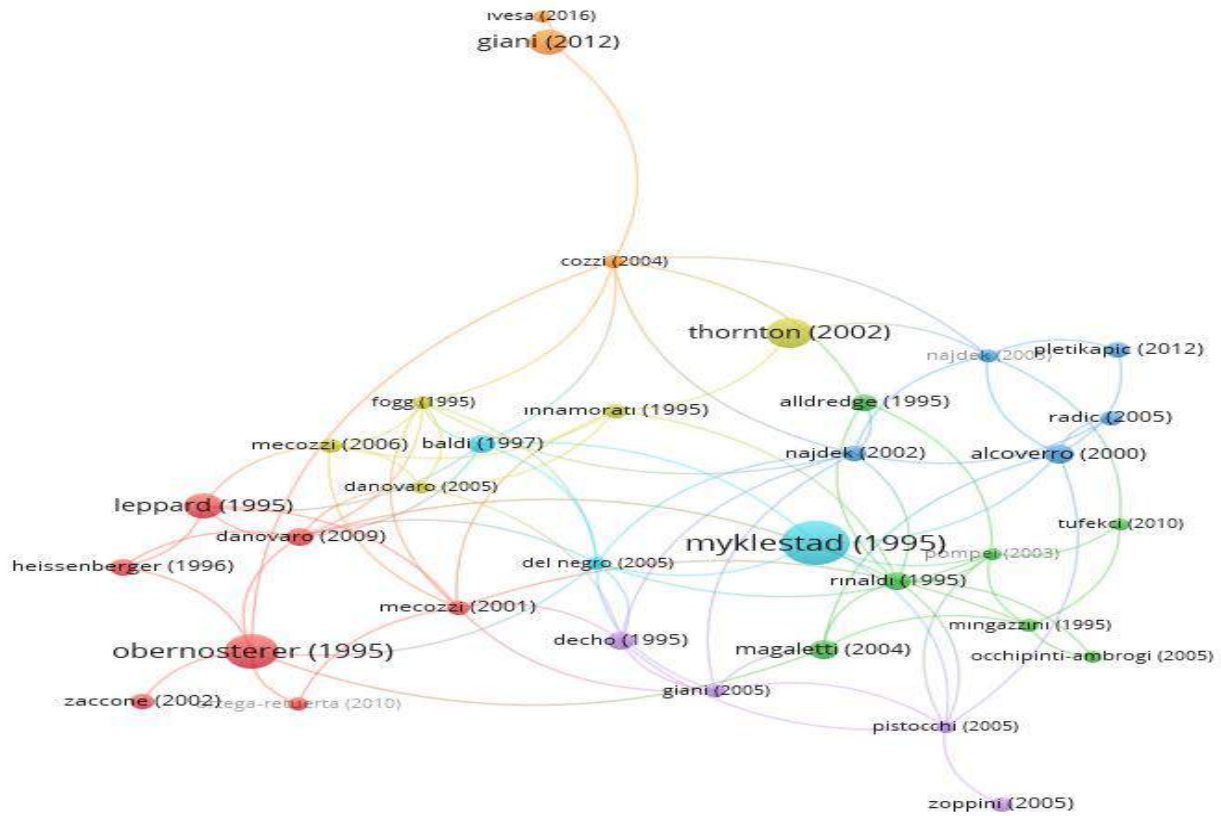


Fig. 7 Mapping on citations of journals by authors

Table 7. Analysis Results of Publications' Abstracts

Term	Occurrence	Relevance
Species	35	0.49
Production	31	0.69
Summer	31	0.45
Organic Matter	30	0.89
Formation	26	1.74
Period	25	0.61
Mucilage Event	23	1.07
Change	23	0.75
Bloom	21	1.18
Diatom	19	0.99
Carbohydrate	18	1.65
Mechanism	16	2.60
Polysaccharide	14	1.47
Mucilage Aggregate	14	1.16
Mediterranean Sea	13	1.22

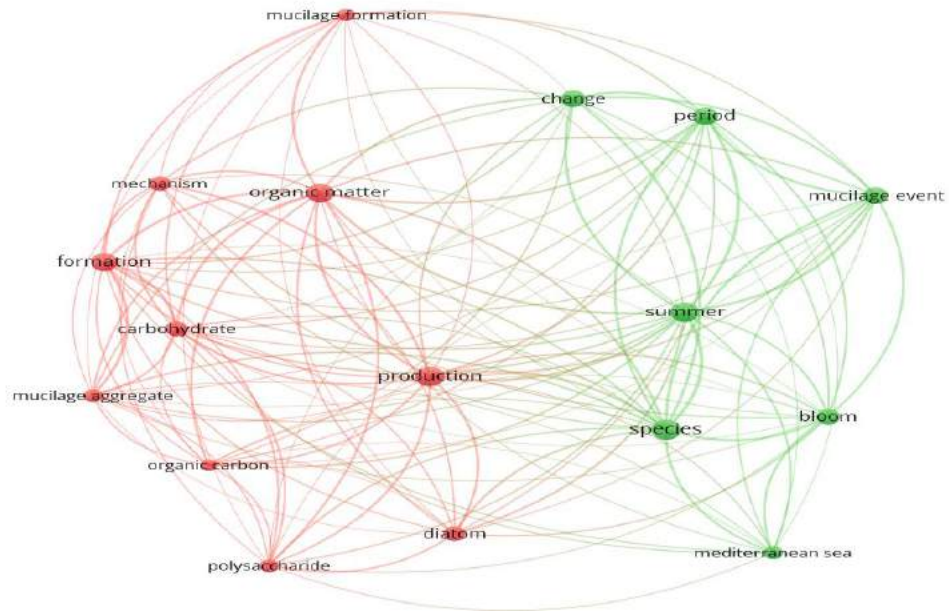


Fig. 8 Mapping on co-occurrence of terms in abstracts

3.1.8. Data Mining of Abstracts

Finally, the most frequently used words and word interactions were examined by applying text mining to 108 articles. The minimum number of occurrences of a term was selected as 10. A total of 24 words were identified that fit this selection, but some words such as "study", "presence", and "sample" were excluded from the analysis. Analysis conducted revealed 17 significant words. The word with the highest occurrence is "species" with the 35 occurrences. "Production", "summer", and "organic matter" are the other words with the highest occurrences (Table 7). These words are grouped around two clusters (red and green) as seen in Figure 8.

3.1.9. Research Areas

Fin In our analysis, we extracted the focus/reference or sampling area of the conducted studies (Figure 9 & Figure 10).

Findings on these showed that most of the studies were localized within the (Northern) Adriatic Sea. Following this, Tyrrhenian Sea and Gulf of Trieste were the most common areas for marine mucilage research. Considering that these are the names of local waters within a greater body of sea, we can claim that the overall research area for marine mucilage is condensed within the Mediterranean Sea. Considering the other areas for marine mucilage research, we encounter a limited number of studies that focus outside of the Mediterranean Sea. A note to point on these findings are; studies that focus on smaller-scaled areas also try to generalize their finding to a bigger scale. Such as; research that uses samples collected from a gulf or a coast elaborate and connect its findings to a larger sea that the sample area is connected to.

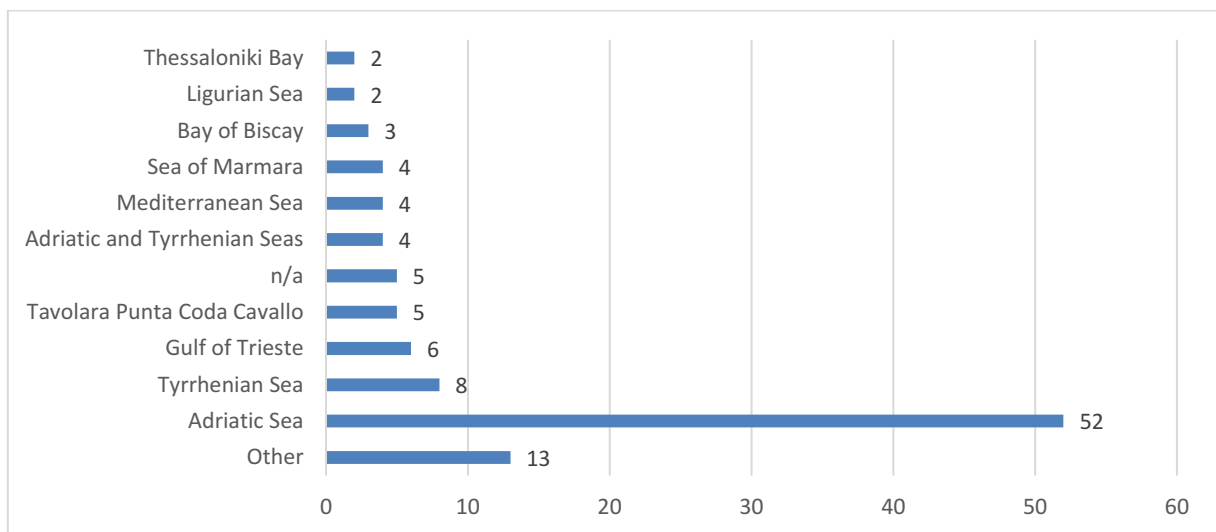


Fig. 9 Area of the reference/focus/sample of the research

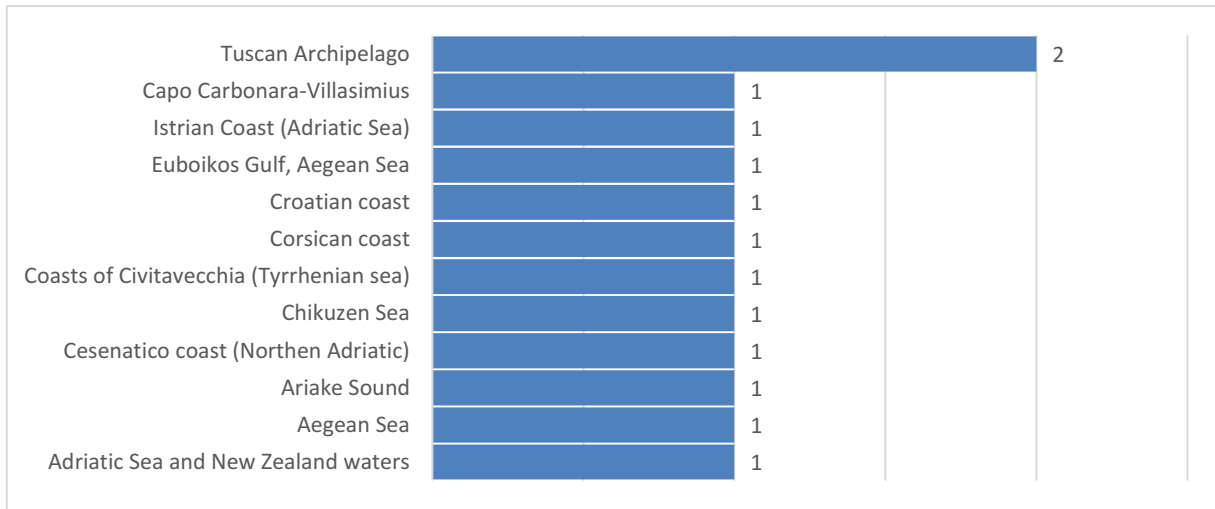


Fig. 10 Area of the reference/focus/sample of the research (others detailed)

3.1.10. Research Methods

The analysis of the adopted research methods was conducted on the general basis of the studies. We considered the aims and overall used methods when classifying the studies. Our finding showed that most of the research was conducted with quantitative research methods in mind (Figure 11). Considering the field of the studies this was an expected result. There are also few studies that adopted qualitative methods and a few that utilized mixed research methods.

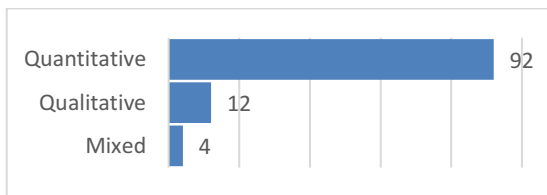


Fig. 11 Adopted Research Methodologies of the Articles

A more detailed analysis showed that most of the quantitative studies adopted correlational, experimental, or comparative methods as a basis and there was no significant distinction between the numbers of these methods (Figure 12). Descriptive researches as explaining and giving info about the current situations in quantitative details were also seen frequently. Review articles condensing, analyzing, and giving an insight into the marine mucilage phenomenon were also available. Theory-building methods are mostly seen in the early researches conducted.

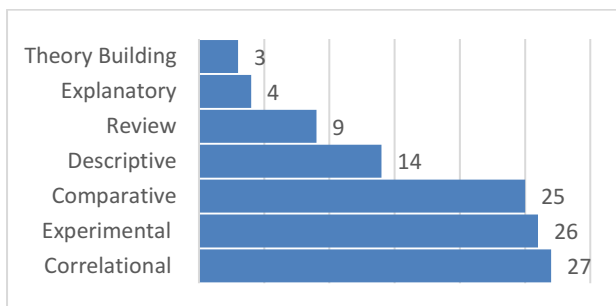


Fig. 12 Detailed Research Methodologies of the Articles

4. Conclusion

Even though marine mucilage formations are not new nor unknown events, the importance of them as a research subject seems to increase with eventual occurrences. That means research conducted takes shape according to mucilage events. It is more likely to see an increase in the research on this subject as long as marine mucilage outbreaks keep happening. This case is also confirmed with the focus or reference area of the studies. Most of the studies are directly related to mucilage events in Adriatic and Tyrrhenian Sea. A few different areas focused on studies are the Aegean Sea and the Ligurian Sea which are also close to the aforementioned areas. All of these seas are localized in the Mediterranean Sea. More regional researches that focus on a smaller area also group around the coasts of Italy. Therefore, it is safe to say that the main focus of marine mucilage research is centered and condensed in the Mediterranean Sea. Thus authors, their country of origins, and their affiliated organization are close to these regions. This means marine mucilage problem and solution of it through research actually might be more localized than thought.

Research on marine mucilage frequently tries to establish a correlation and try to determine the causes and the origin of the problem. There are some studies that focus on the solution part but not more than the research that tries to analyze, compare and understand the current situation. This is mostly done through adopting quantitative research methods. Likewise, field studies seem to make up the great majority of the articles. Though it is not possible to make a distinction between experimental, correlational, or comparative studies, it is clear that most of them adopt applied methods in research. Qualitative research studies, on the other hand, fall behind in count but still get a considerable amount of citation as they establish a base for the phenomenon. We see that few of the most cited publications on this subject are review studies that act as a reference for other studies. As for the citations and publication, one journal excels as an important hub for marine mucilage. Journal "Science of the Total Environment" publishes most on this topic, as they cover and encourage multi-disciplinary environmental research. Along with the journal "Marine Ecology Progress Series" these two journals make up the biggest citation sources.

It can be considered that continuing regional studies will support and pave way for future studies and the number of publications on this topic will increase in the number. Additional mucilage events would also increase the importance of this topic. As such the recent mucilage events at the Sea of Marmara and Turkish coasts attracted the attention of the public and the media. This means the importance of regional research may now be even more significant.

References

- [1] TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 2021, "Marmara Denizi Müsilaj Sorununun Sebepleri, Değerlendirmesi ve Çözüm Önerileri".
- [2] G. Altuğ, M. Çardak & P. S. Çiftçi. (2010). "Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumu ve bakteriyel etkileşimler". "Marmara Denizi 2010" Sempozyumu, 25-26 Eylül 2010, İstanbul.
- [3] B. Savun Hekimoğlu & C. Gazioğlu. (2021). "Mucilage problem in the semi-enclosed seas: recent outbreak in the sea of Marmara". *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(4), 402-413.
- [4] R. Precali, M. Giani, M. Marini, F. Grilli, C. R. Ferrari, O. Pečar & E. Paschini. (2005). "Mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic in the period 1999–2002: typology and distribution". *Science of the Total Environment*, 353(1-3), 10-23.
- [5] ENV Enerji Çevre Yönetimi ve Teknolojileri, (2021), Deniz Salyası (Müsilaj).
- [6] R. A. Vollenweider & A. Rinaldi. (1995). Editorial. *Science of the Total Environment*, 165, 5–7.
- [7] M. E. Conti. (1996). "The pollution of the Adriatic Sea: scientific knowledge and policy actions". *International Journal of Environment and Pollution*, 6, 113–130.
- [8] A. De Lazzari, D. Berto, D. Cassin, A. Boldrin & M. Giani. (2008). "Influence of winds and oceanographic conditions on the mucilage aggregation in the Northern Adriatic Sea in 2003–2006". *Marine Ecology*, 29(4), 469-482.
- [9] M. Mecozzi, M. Pietroletti, M. Scarpiniti, R. Acquistucci & M. E. Conti. (2012). "Monitoring of marine mucilage formation in Italian Seas investigated by infrared spectroscopy and independent component analysis". *Environmental Monitoring Assessment*, 184, 6025–6036. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2400-4>
- [10] J. Berthon, G. Zibordi & S. B. Hooker. (2000). "Marine optical measurements of a mucilage event in the Northern Adriatic Sea". *Limnology and Oceanography*. 45(2), 322-327. <https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.2.0322>
- [11] F. De Angelis, M. V. Barbarulo, M. Bruno, L. Volterra & R. Nicolett. (1993). "Chemical composition and biological origin of 'dirty sea' mucilages". *Phytochemistry*, 34(2), 393-395.
- [12] R. Danovaro, S. Fonda Umani & A. Pusceddu. (2009). "Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea". *PLoS ONE* 4(9): e7006. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007006>
- [13] V. Rouaud, N. Susperrégui, A. Fahy, R. Guyoneaud, S. Bichon, C. Liénart, Y. Del Amo, N. Savoye, P. Gaudin, R. Duran & B. Lauga. (2019). "Dynamics of microbial communities across the three domains of life over an annual cycle with emphasis on marine mucilage in the Southern Bay of Biscay resolved by Microbial Fingerprinting". *Continental Shelf Research*, 186, 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.06.003>
- [14] M. Monti, C. Welker, G. Dellavalle, L. Casaretto & S. Fonda Umani. (1995). "Mucous aggregates under natural and laboratory conditions: a review". *Science of the Total Environment*, 165, 145–154.
- [15] M. Mecozzi, M. Pietroletti & M. E. Conti. (2008). "The Complex mechanisms of marine mucilage formation by spectroscopic investigation of the structural characteristics of natural and synthetic mucilage samples". *Marine Chemistry*, 112, 38–52.
- [16] M. Mecozzi, M. Pietroletti, V. Gallo & M. E. Conti. (2009). "Formation of incubated marine mucilages investigated by FTIR and UV–VIS spectroscopy and supported by Two-Dimensional Correlation Analysis". *Marine Chemistry*, 116, 18–35.
- [17] N. J. Van Eck & L. Waltman. (2011). "Text mining and visualization using VOSviewer". *arXiv preprint arXiv:1109.2058*.
- [18] T. Huang, H. Wu, S. Yang, B. Su, K. Tang, Z. Quan, W. Zhong & X. Luo. (2020). "Global trends of researches on sacral fracture surgery: a bibliometric study based on VOSviewer". *Spine*, 45(12), E721-E728.
- [19] I. Hamidah, S. Sriyono & M. N. Hudha. (2020). "A Bibliometric analysis of Covid-19 research using VOSviewer". *Indonesian Journal of Science and Technology*, 5(2), 209-216.
- [20] T. Alcoverro, E. Conte & L. Mazzella. (2000). "Production of mucilage by the adriatic epipelagic diatom *Cylindrotheca closterium* (bacillariophyceae) under nutrient limitation". *Journal of Phycology*, 36(6), 1087-1095.
- [21] A. L. Alldredge & K. M. Crocker. (1995). "Why do sinking mucilage aggregates accumulate in the water column?". *Science of the Total Environment*, 165(1-3), 15-22.
- [22] F. Baldi, A. Minacci, A. Saliot, L. Mejanelle, P. Mozetic, V. Turk & A. Malej. (1997). "Cell lysis and release of particulate polysaccharides in extensive marine mucilage assessed by lipid biomarkers and molecular probes". *Marine Ecology Progress Series*, 153, 45-57.
- [23] A. W. Decho & G. J. Herndl. (1995). "Microbial activities and the transformation of organic matter within mucilaginous material". *Science of the Total Environment*, 165(1-3), 33-42.
- [24] A. Heissenberger, G. G. Leppard & G. J. Herndl. (1996). "Ultrastructure of marine snow". *II. Microbiological Considerations. Marine Ecology Progress Series*, 135, 299-308.
- [25] G. G. Leppard. (1995). "The characterization of algal and microbial mucilages and their aggregates in aquatic ecosystems". *Science of the Total Environment*, 165(1-3), 103-131.
- [26] E. Magaletti, R. Urbani, P. Sist, C. R. Ferrari & A. M. Cicero. (2004). "Abundance and chemical characterization of extracellular carbohydrates released by the marine diatom *Cylindrotheca fusiformis* under N-and P-limitation". *European Journal of Phycology*, 39(2), 133-142.
- [27] G. Michele, D. Tamara, D. Danilo, C. Stefano, S. Cosimo & S. Fonda. (2012). "Recent changes in the marine ecosystems of the Northern Adriatic Sea". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115, 1-13.
- [28] S. M. Myklestad. (1995). "Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides". *Science of the Total Environment*, 165(1-3), 155-164.

- [29] I. Obernosterer & G. J. Herndl. (1995). "Phytoplankton extracellular release and bacterial growth: dependence on the inorganic N: P ratio". *Marine Ecology Progress Series*, 116(1), 247-257.
- [30] G. Pletikapić, V. Žutić, I. Vinković Vrček & V. Svetličić. (2012). "Atomic force microscopy characterization of silver nanoparticles interactions with marine diatom cells and extracellular polymeric substance". *Journal of Molecular Recognition*, 25(5), 309-317.
- [31] A. Rinaldi, R. A. Vollenweider, G. Montanari, C. R. Ferrari & A. Ghetti. (1995). "Mucilages in Italian Seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988–1991". *Science of the Total Environment*, 165(1-3), 165-183.
- [32] D. C. Thornton. (2002). "Diatom aggregation in the sea: mechanisms and ecological implications". *European Journal of Phycology*, 37(2), 149-161.
- [33] R. Zaccone, G. Caruso & C. Calı. (2002). "Heterotrophic bacteria in the northern Adriatic Sea: seasonal changes and ectoenzyme profile". *Marine Environmental Research*, 54(1), 1-19.



On *-Continuity and *-Uniform Continuity of Some Non-Newtonian Superposition Operators

Fatmanur Erdoğan^{1*}, Birsen Sağır²

^{1*}Ondokuz Mayıs University, Institute of Graduate Education, Department of Mathematics, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5638-5294), fatmanurkilic89@hotmail.com

²Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science and Arts, Department of Mathematics, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5954-2005), bduyar@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012337)

ATIF/REFERENCE: Erdoğan, F. & Sağır, B. (2021). On *-Continuity and *-Uniform Continuity of Some Non-Newtonian Superposition Operators. *European Journal of Science and Technology*, (28), 959-967.

Abstract

Many studies have been done on superposition operators and non-Newtonian calculus from past to present. Sağır and Erdoğan defined Non-Newtonian superposition operators and characterized them on some sequence spaces. Also they examined *- boundedness and *-locally boundedness of Non-Newtonian superposition operators $c_{0,\alpha}$ and c_α to $l_{1,\beta}$. In this study, we define *-continuity and *-uniform continuity of operator. We have proved that the necessary and sufficient conditions for the *-continuity of the non-Newtonian superposition operator $c_{0,\alpha}$ to $l_{1,\beta}$. Then we examined the relationship between the *-uniform continuity and the *-boundedness of the non-Newtonian superposition operator. Also, the similar results have been researched for the Non-Newtonian superposition operator c_α to $l_{1,\beta}$.

Keywords: *-Continuity, *-uniform continuity, *-boundedness, non-Newtonian superposition operators, non-Newtonian sequence spaces.

Bazı Newtonyen Olmayan Superposition Operatörlerin *-Sürekliliği ve *-Düzgün Sürekliliği Üzerine

Öz

Geçmişten günümüze superposition operatörler ve Newtonyen olmayan analiz üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Sağır ve Erdoğan Newtonyen olmayan superposition operatörleri tanımlamış ve bazı dizi uzayları üzerinde karakterize etmişlerdir. Ayrıca $c_{0,\alpha}$ ve c_α uzaylarından $l_{1,\beta}$ uzayına tanımlı Newtonyen olmayan superposition operatörlerin *-sınırlılığını ve *-yerel sınırlılığını incelemişlerdir. Bu çalışmada operatörün *-süreklilik ve *-düzgün sürekliliğini tanımlıyoruz. $c_{0,\alpha}$ uzayından $l_{1,\beta}$ uzayına tanımlı Newtonyen olmayan superposition operatörün *-sürekliliği için gerekli ve yeterli koşulları ispatlıyoruz. Sonra Newtonyen olmayan superposition operatörün *-düzgün sürekliliği ile *-sınırlılığını arasındaki ilişkiyi inceliyoruz. Ayrıca c_α uzayından $l_{1,\beta}$ uzayına tanımlı Newtonyen olmayan superposition operatör için de benzer sonuçlar araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *-Süreklilik, *-düzgün süreklilik, *-sınırlılık, Newtonyen olmayan superposition operatörler, Newtonyen olmayan dizi uzayları.

* Corresponding Author: fatmanurkilic89@hotmail.com

1. Introduction

Non-Newtonian calculus was firstly introduced by Michael Grossman and Robert Katz between years 1967 and 1970 and they published the book about fundamentals of non-Newtonian calculus which includes some special calculus such as geometric, harmonic, quadratic. At the recent times, Çakmak and Başar (2012) obtained some results on sequence spaces with respect to non-Newtonian calculus. Also, Duyar and Erdogan (2016) worked on non-Newtonian real number series and there are many works about non-Newtonian calculus as (Sağır and Erdoğan, 2019b; Sager and Sağır, 2021).

Many studies are done until today on superposition operator which is one of the non-linear operators. Dedagich and Zabreiko (1987) studied on the superposition operators in the space ℓ_p . After, some properties of superposition operator, such as boundedness, continuity, were studied by Thuangoon (1998), Sağır and Güngör (2015a) and many others (Sağır and Güngör, 2015b; Güngör and Sağır, 2017). Non-Newtonian superposition operator was defined and characterized in some non-Newtonian sequence spaces by Sağır and Erdoğan (2019a). Also Erdoğan and Sağır (2021) worked on *- boundedness and *-locally boundedness of some non-Newtonian superposition operators.

A generator is defined as an injective function with domain \mathbb{R} and the range of generator is a subset of \mathbb{R} . Let take any α generator with range $A = \mathbb{R}_\alpha$. Let define α -addition, α -subtraction, α -multiplication, α -division and α -order as follows respectively;

$$y \dot{+} z = \alpha(\alpha^{-1}(y) + \alpha^{-1}(z))$$

$$y \dot{-} z = \alpha(\alpha^{-1}(y) - \alpha^{-1}(z))$$

$$y \dot{\times} z = \alpha(\alpha^{-1}(y) \times \alpha^{-1}(z))$$

$$y \dot{/} z = \alpha(\alpha^{-1}(y) / \alpha^{-1}(z)), z \neq \dot{0}, \alpha^{-1}(z) \neq 0$$

$$y \dot{<} z (y \dot{\leq} z) \Leftrightarrow \alpha^{-1}(y) < \alpha^{-1}(z) (\alpha^{-1}(y) \leq \alpha^{-1}(z))$$

for $x, y \in \mathbb{R}_\alpha$ (Grossman and Katz, 1972).

$(\mathbb{R}_\alpha, \dot{+}, \dot{-}, \dot{\times}, \dot{/}, \dot{\leq})$ is totally ordered field (Çakmak and Başar, 2012).

α -absolute value of a number $x \in \mathbb{R}_\alpha$ is defined by

$$|x|_\alpha = \begin{cases} x & , x \dot{>} \alpha(0) \\ \alpha(0) & , x = \alpha(0) \\ \alpha(0) \dot{-} x & , x \dot{<} \alpha(0) \end{cases}$$

Grossman and Katz described the *-calculus with the help of two arbitrary selected generators. In this study, we studied according to *-calculus. Let take any generators α and β and let * ("star") is shown the ordered pair of arithmetics (α -arithmetic, β -arithmetic). The following notations will be used.

	α -arithmetic	β -arithmetic
Realm	$A = \mathbb{R}_\alpha$	$B = \mathbb{R}_\beta$
Addition	$\dot{+}$	$\ddot{+}$
Subtraction	$\dot{-}$	$\ddot{-}$
Multiplication	$\dot{\times}$	$\ddot{\times}$
Division	$\dot{/}$	$\ddot{/}$
Order	$\dot{<}$	$\ddot{<}$

In the *-calculus, α -arithmetic is used on arguments and β -arithmetic is used on values.

The isomorphism from α -arithmetic to β -arithmetic is the unique function ι (iota) that possesses the following three properties.

1. ι is one-to-one.
2. ι is on A and onto B .
3. For any numbers u and v in A ,

It turns out that $\iota(x) = \beta(\alpha^{-1}(x))$ for every number x in A and that $\iota(\dot{n}) = \ddot{n}$ for every integer n (Grossman and Katz, 1972).

The non-Newtonian sequence spaces $S_\alpha, \ell_{\infty, \alpha}, c_\alpha$ and $c_{0, \alpha}$ over the non-Newtonian real field \mathbb{R}_α are defined as following:

$$S_\alpha = \{x = (x_k) : \forall k \in \mathbb{N}; x_k \in \mathbb{R}_\alpha\}$$

$$\ell_{\infty, \alpha} = \left\{x = (x_k) \in S_\alpha : \sup_{k \in \mathbb{N}} |x_k|_\alpha \dot{<} \infty\right\}$$

$$c_\alpha = \left\{x = (x_k) \in S_\alpha : \exists l \in \mathbb{R}_\alpha \ni \lim_{k \rightarrow \infty} |x_k \dot{-} l|_\alpha = \dot{0}\right\}$$

$$c_{0, \alpha} = \left\{x = (x_k) \in S_\alpha : \lim_{k \rightarrow \infty} |x_k|_\alpha = \dot{0}\right\}$$

The sequence spaces $\ell_{\infty, \alpha}, c_\alpha, c_{0, \alpha}$ are non-Newtonian normed spaces with the non-Newtonian norm $\|\cdot\|_{\ell_{\infty, \alpha}}$ which is defined as $\|x\|_{\ell_{\infty, \alpha}} = \sup_{k \in \mathbb{N}} |x_k|_\alpha$ (Çakmak and Başar, 2012).

The α -sequence $e_n^{(k)}$ is defined as $e_n^{(k)} = \begin{cases} \dot{1}, & k = n \\ \dot{0}, & k \neq n \end{cases}$.

Let S_α be space of non-Newtonian real number sequences, X_α be a sequence space on \mathbb{R}_α and Y_β be a sequence space on \mathbb{R}_β . A non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ on X_α is a mapping from X_α into S_α defined by ${}_N P_f(x) = (f(k, x_k))_{k=1}^\infty$ where $f: \mathbb{N} \times \mathbb{R}_\alpha \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ satisfies condition (NA_1) as follows;

$$(NA_1) \quad f(k, \dot{0}) = \ddot{0} \text{ for all } k \in \mathbb{N}$$

If ${}_N P_f \in Y_\beta$ for all $x = (x_k) \in X_\alpha$, we say that ${}_N P_f$ acts from X_α into Y_β and write ${}_N P_f: X_\alpha \rightarrow Y_\beta$ (Sağır and Erdoğan, 2019a).

Also, we shall assume the following conditions:

$$(NA_2) \quad f(k, \cdot) \text{ is } * \text{-continuous for all } k \in \mathbb{N}.$$

(NA_2') $f(k, \cdot)$ is β -bounded on every α -bounded subset of \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$.

Sağır and Erdoğan (2019a) have characterized the non-Newtonian superposition operators ${}_N P_f$ on $c_{0,\alpha}$ and c_α as the following.

Theorem 1

Let $f: \mathbb{N} \times \mathbb{R}_\alpha \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ satisfies the condition (NA_2') . Then ${}_N P_f: c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$ if and only if there exist an α -number $\mu \dot{>} \dot{0}$ and a β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ such that $|f(k, t)|_\beta \ddot{\leq} c_k$ when $|t|_\alpha \dot{\leq} \mu$ for all $k \in \mathbb{N}$.

Theorem 2

Let $f: \mathbb{N} \times \mathbb{R}_\alpha \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ satisfies the condition (NA_2') . Then ${}_N P_f: c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$ if and only if there exist an α -number $\mu \dot{>} \dot{0}$ and a β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ such that $|f(k, t)|_\beta \ddot{\leq} c_k$ when $|t \dot{-} z|_\alpha \dot{\leq} \mu$ for all $z \in \mathbb{R}_\alpha$ and for all $k \in \mathbb{N}$.

Theorem 3

Let $f: \mathbb{N} \times \mathbb{R}_\alpha \rightarrow \mathbb{R}_\beta$. The non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f: c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$ is $*$ -bounded if and only if for all $\mu \dot{>} \dot{0}$ there exists a β -sequence $c(\mu) = (c_k(\mu)) \in \ell_{1,\beta}$ such that $|f(k, t)|_\beta \ddot{\leq} c_k$ when $|t|_\alpha \dot{\leq} \mu$ for each $k \in \mathbb{N}$.

Theorem 4

Let $f: \mathbb{N} \times \mathbb{R}_\alpha \rightarrow \mathbb{R}_\beta$. Then ${}_N P_f: c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$ is $*$ -bounded if and only if for every $\mu \dot{>} \dot{0}$ there exists a β -

e-ISSN: 2148-2683

sequence $c(\mu) = (c_k(\mu)) \in \ell_{1,\beta}$ such that $|f(k, t)|_\beta \ddot{\leq} c_k$ when $|t|_\alpha \dot{\leq} \mu$ for all $k \in \mathbb{N}$ (Erdoğan and Sağır, 2021).

Our aim in this study is to extend some topological properties of superposition operators in classical calculus to non-Newtonian calculus. We prove that the necessary and sufficient conditions for the $*$ -continuity and $*$ -uniform continuity of the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f: c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$. Also the similar results have been obtained for ${}_N P_f: c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$.

2. Main Results

Definition 1

Let $X \subset \mathbb{R}_\alpha$ and let $f: X \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ be a function. If for every β -number $\varepsilon \dot{>} \dot{0}$, there exists an α -number $\delta = \delta(\varepsilon) \dot{>} \dot{0}$ such that

$$|f(x_1) \dot{-} f(x_2)|_\beta \ddot{\leq} \varepsilon \text{ when } |x_1 \dot{-} x_2|_\alpha \dot{\leq} \delta$$

for all $x_1, x_2 \in X$, then it is said that the function f is $*$ -uniformly continuous on X . The function $f: X \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ is $*$ -continuous if it is $*$ -uniformly continuous.

Definition 2

Let $(X, \|\cdot\|_{X,\alpha})$ and $(Y, \|\cdot\|_{Y,\beta})$ be non-Newtonian normed spaces and let $F: X \rightarrow Y$ be an operator. If for every β -number $\varepsilon \dot{>} \dot{0}$, there exists an α -number $\delta = \delta(\varepsilon) \dot{>} \dot{0}$ such that

$$\|F(x_1) \dot{-} F(x_2)\|_{Y,\beta} \ddot{\leq} \varepsilon \text{ when } \|x_1 \dot{-} x_2\|_{X,\alpha} \dot{\leq} \delta$$

for all $x_1, x_2 \in X$, then it is said that the operator F is $*$ -uniformly continuous on X .

Theorem 5

Every function which is $*$ -continuous on α -closed and α -bounded subset of \mathbb{R}_α is also $*$ -uniformly continuous on this set.

Proof

Assume that function $f: X \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ which is $*$ -continuous on an α -closed and α -bounded set $X \subset \mathbb{R}_\alpha$ is not $*$ -uniformly continuous. Then, there are at least a β -number $\varepsilon \dot{>} \dot{0}$ and $x_n, y_n \in X$ such that

$$|f(x_n) \dot{-} f(y_n)|_\beta \ddot{\leq} \varepsilon \tag{2.1}$$

when

$$|x_n \dot{-} y_n|_\alpha \dot{<} \frac{1}{n} \alpha \tag{2.2}$$

for all $n \in \mathbb{N}$. The sequence (x_n) is an α -bounded sequence since set X is α -bounded and $x_n \in X$ for all $n \in \mathbb{N}$. By α -Bolzano Weierstrass Theorem (Duyar et al., 2015), (x_n) has an α -convergent subsequence (x_{n_k}) . Let ${}^\alpha \lim_{k \rightarrow \infty} x_{n_k} = x_0$. Since X is α -closed, $x_0 \in X$. If we use the inequality 2.2, we get

$$\begin{aligned} |y_{n_k} \dot{-} x_0|_\alpha &\dot{\leq} |y_{n_k} \dot{-} x_{n_k}|_\alpha \dot{+} |x_{n_k} \dot{-} x_0|_\alpha \\ &\dot{\leq} \frac{1}{n_k} \alpha \dot{+} |x_{n_k} \dot{-} x_0|_\alpha \end{aligned}$$

This means that ${}^\alpha \lim_{k \rightarrow \infty} y_{n_k} = x_0$. Since function f is $*$ -continuous at point x_0

$${}^\beta \lim_{k \rightarrow \infty} f(x_{n_k}) = {}^\beta \lim_{k \rightarrow \infty} f(y_{n_k}) = f(x_0)$$

is written. Therefore

$$\left| {}^\beta \lim_{k \rightarrow \infty} f(x_{n_k}) \dot{-} {}^\beta \lim_{k \rightarrow \infty} f(y_{n_k}) \right|_\beta = |f(x_0) \dot{-} f(x_0)|_\beta = \ddot{0}$$

but this situation contradicts with the inequality 2.1 for all $k \in \mathbb{N}$. So the function f is $*$ -uniformly continuous on X .

Corollary 1

All functions which are $*$ -continuous on $[a, b] \subset \mathbb{R}_\alpha$ are $*$ -uniformly continuous on this interval.

Proposition 1

Let X be one of the non-Newtonian sequence spaces $c_{0,\alpha}$, c_α and $\ell_{\infty,\alpha}$. If the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f : X \rightarrow \ell_{1,\beta}$ is $*$ -continuous on X , then $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous on \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$.

Proof

Assume that ${}_N P_f$ is $*$ -continuous on X . Let $k \in \mathbb{N}$, $t_0 \in \mathbb{R}_\alpha$ and $\varepsilon \dot{>} \ddot{0}$. Since ${}_N P_f$ is $*$ -continuous at $t_0 \dot{\times} e^{(k)} \in X$, there exists an α -number $\delta \dot{>} \ddot{0}$ such that $\| {}_N P_f(z) \dot{-} {}_N P_f(t_0 \dot{\times} e^{(k)}) \|_{\ell_{1,\beta}} \dot{<} \varepsilon$ when $\| z \dot{-} t_0 \dot{\times} e^{(k)} \|_{X,\alpha} \dot{<} \delta$ (2.3)

for each $z = (z_k) \in X$. Let $t \in \mathbb{R}_\alpha$ with $|t \dot{-} t_0|_\alpha \dot{<} \delta$ and let $y_n = \begin{cases} t, & n = k \\ \ddot{0}, & n \neq k \end{cases}$. Then $y = (y_n) \in X$ and

$\| y \dot{-} t_0 \dot{\times} e^{(k)} \|_{X,\alpha} = |t \dot{-} t_0|_\alpha \dot{<} \delta$. By 2.3, it is obtained that $\| {}_N P_f(y) \dot{-} {}_N P_f(t_0 \dot{\times} e^{(k)}) \|_{\ell_{1,\beta}} \dot{<} \varepsilon$. Then

$$|f(k, t) \dot{-} f(k, t_0)|_\beta = \| {}_N P_f(y) \dot{-} {}_N P_f(t_0 \dot{\times} e^{(k)}) \|_{\ell_{1,\beta}} \dot{<} \varepsilon.$$

Thus $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous on \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$.

Theorem 6

Let ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$. The non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -continuous on $c_{0,\alpha}$ if and only if function $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous on \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$.

Proof

First part of theorem (necessity condition) is seen from Proposition 1. Conversely, assume that function $f(k, \cdot)$ be $*$ -continuous on \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$. Let $x = (x_k) \in c_{0,\alpha}$ and $\varepsilon \dot{>} \ddot{0}$. The function f satisfies condition (NA_2) since it satisfies condition (NA_2) . By Theorem 1, there exist an α -number $\mu \dot{>} \ddot{0}$ and a β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ such that

$$|f(k, t)|_\beta \dot{\leq} c_k \quad \text{whenever} \quad |t|_\alpha \dot{\leq} \mu \tag{2.4}$$

for all $k \in \mathbb{N}$ since ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$. We get

$${}^\alpha \lim_{k \rightarrow \infty} |x_k|_\alpha = \ddot{0} \quad \text{and} \quad {}^\beta \sum_{k=1}^{\infty} c_k = {}^\beta \sum_{k=1}^{\infty} |c_k|_\beta \dot{<} \ddot{\infty}$$

since $x \in c_{0,\alpha}$ and $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$. Then, there exists a $N \in \mathbb{N}$ such that

$$|x_k|_\alpha \dot{\leq} \frac{\mu}{2} \alpha \quad \text{and} \quad {}^\beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{<} \frac{\varepsilon}{3} \beta$$

for all $k \geq N$. Thus $|x_k|_\alpha \dot{\leq} \mu$ is written for all $k \geq N$. By 2.4, $|f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} c_k$ is obtained for all $k \geq N$. Then

$${}^\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} {}^\beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{<} \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.5}$$

is found. Since the function $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous at x_k , there exists an α -number $\delta \dot{>} \ddot{0}$ with $\delta \dot{<} \min \left\{ \dot{1}, \frac{\mu}{2} \alpha \right\}$ such that

$$|f(k, t) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \dot{<} \frac{\varepsilon}{3 \ddot{\times} (\ddot{N} \dot{-} \dot{1})} \beta \quad \text{when} \quad |t \dot{-} x_k|_\alpha \dot{<} \delta \tag{2.6}$$

for all $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$ and $t \in \mathbb{R}_\alpha$. Let we take $z = (z_k) \in c_{0,\alpha}$ such that $\|z \dot{-} x\|_{c_{0,\alpha}} \dot{<} \delta$. Then

$$|z_k \dot{-} x_k|_\alpha \dot{\leq} \sup_n |z_n \dot{-} x_n|_\alpha = \|z \dot{-} x\|_{c_{0,\alpha}} \dot{<} \delta$$

for all $k \in \mathbb{N}$. By 2.6

$$|f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \dot{<} \frac{\varepsilon}{\mathring{3} \dot{\times} (\mathring{N} \dot{-} \mathring{1})} \beta$$

is found for $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$. So

$$\beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \dot{<} \frac{\varepsilon}{\mathring{3}} \beta \tag{2.7}$$

is written. Since

$$|z_k|_\alpha \dot{\leq} |z_k \dot{-} x_k|_\alpha \dot{+} |x_k|_\alpha \dot{<} \delta \dot{+} \frac{\mu}{2} \alpha \dot{<} \frac{\mu}{2} \alpha \dot{+} \frac{\mu}{2} \alpha = \mu$$

for all $k \geq N$, by virtue of 2.4, $|f(k, z_k)|_\beta \dot{<} c_k$ is obtained

for all $k \geq N$. Then

$$\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, z_k)|_\beta \dot{\leq} \beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{<} \frac{\varepsilon}{\mathring{3}} \beta \tag{2.8}$$

is written. Therefore

$$\begin{aligned} \|{}_N P_f(z) \dot{-} {}_N P_f(x)\|_{\ell_{1,\beta}} &= \beta \sum_{k=1}^{\infty} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \\ &= \beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \dot{+} \beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \\ &\dot{\leq} \beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \dot{+} \beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, z_k)|_\beta \dot{+} \beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \\ &\dot{<} \frac{\varepsilon}{\mathring{3}} \beta \dot{+} \frac{\varepsilon}{\mathring{3}} \beta \dot{+} \frac{\varepsilon}{\mathring{3}} \beta \\ &= \varepsilon \end{aligned}$$

is obtained by using inequalities 2.5, 2.7, 2.8. So, the operator ${}_N P_f$ is *-continuous on $c_{0,\alpha}$.

Example 1

Let function $f : \mathbb{N} \times \mathbb{R}_\alpha \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ be defined as

$$f(k, t) = \frac{|t(t) \dot{\times} (t(t) \dot{-} \mathring{3})|_\beta}{\mathring{7}^{k_\beta}} \beta. \text{ } f \text{ satisfies the condition}$$

(NA_2') since $f(k, \cdot)$ *-continuous for all $k \in \mathbb{N}$. Let $\mu = \mathring{1}$ and $t \in \mathbb{R}_\alpha$. If $|t|_\alpha \dot{\leq} \mathring{1}$, then

$$|t(t) \dot{-} \mathring{3}|_\alpha \dot{\leq} |t(t)|_\alpha \dot{+} \mathring{3} \dot{\leq} \mathring{4}$$

is obtained. So

$$|f(k, t)|_\beta = \frac{|t(t) \dot{\times} (t(t) \dot{-} \mathring{3})|_\beta}{\mathring{7}^{k_\beta}} \beta = \frac{|t(t)|_\beta \dot{\times} |(t(t) \dot{-} \mathring{3})|_\beta}{\mathring{7}^{k_\beta}} \beta \dot{\leq} \frac{\mathring{4}}{\mathring{7}^{k_\beta}} \beta$$

is found for all $k \in \mathbb{N}$. If $c_k = \frac{\mathring{4}}{\mathring{7}^{k_\beta}} \beta$ for all $k \in \mathbb{N}$, $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ is obtained. By Theorem 1, we get that ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$. In view of Theorem 6, ${}_N P_f$ is *-continuous on $c_{0,\alpha}$ since function $f(k, \cdot)$ is *-continuous for all $k \in \mathbb{N}$.

Theorem 7

Let ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$. The non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is *-uniformly continuous on every α -bounded subset of $c_{0,\alpha}$ if and only if function f satisfies the condition (NA_2) and the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is *-bounded.

Proof

Assume that ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$ is *-uniformly continuous on every α -bounded subset of $c_{0,\alpha}$. By Theorem 6, $f(k, \cdot)$ *-continuous for all $k \in \mathbb{N}$. Namely, it satisfies the condition (NA_2) . Let we take $\rho \dot{>} \mathring{0}$ and $x = (x_k) \in c_{0,\alpha}$ such that $\|x\|_{c_{0,\alpha}} \dot{\leq} \rho$. The function f satisfies the condition (NA_2') since it satisfies the condition (NA_2) . By Theorem 1, there exist an α -number $\mu \dot{>} \mathring{0}$ and a β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ such that

$$|f(k, t)|_\beta \dot{\leq} c_k \text{ whenever } |t|_\alpha \dot{\leq} \mu \tag{2.9}$$

For all $k \in \mathbb{N}$ since ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$. ${}^\alpha \lim_{k \rightarrow \infty} |x_k|_\alpha = \mathring{0}$ since $x \in c_{0,\alpha}$. Then, there exists $N \in \mathbb{N}$ such that $|x_k|_\alpha \dot{\leq} \mu$ for all $k \geq N$. By using 2.9, it is obtained that $|f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} c_k$ for all $k \geq N$. Therefore it is written that

$$\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} \beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{\leq} \beta \sum_{k=1}^{\infty} |c_k|_\beta = \|(c_k)\|_{\ell_{1,\beta}}. \tag{2.10}$$

Let $m_k = \beta \sup_{|t|_\alpha \dot{\leq} \rho} |f(k, t)|_\beta$ for all $k \in \mathbb{N}$. Since f satisfies the condition (NA_2') , $m_k \dot{<} \dot{+} \infty$ for all $k \in \mathbb{N}$. Since $\|x\|_{c_{0,\alpha}} \dot{\leq} \rho$, $|x_k|_\alpha \dot{\leq} \rho$ for all $k \in \mathbb{N}$. Hence we get that

$$|f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} m_k \tag{2.11}$$

for all $k \in \mathbb{N}$. By 2.10 and 2.11

$$\begin{aligned} \| {}_N P_f(x) \|_{\ell_{1,\beta}} &\leq \beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k)|_\beta + \beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \\ &\leq \beta \sum_{k=1}^{N-1} m_k + \| (c_k) \|_{\ell_{1,\beta}}. \end{aligned}$$

Then the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -bounded.

Conversely, assume that f satisfies the condition (NA_2) and ${}_N P_f$ is $*$ -bounded. To show that non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of $c_{0,\alpha}$, it must be shown that the operator ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on α -ball $B_\alpha[\dot{0}, \rho]$. Let $\rho \dot{>} \dot{0}$ and $\varepsilon \dot{>} \dot{0}$. Since ${}_N P_f$ is $*$ -bounded, by Theorem 3 there exists a β -sequence $c_k(\rho) \in \ell_{1,\beta}$ such that

$$|f(k, t)|_\beta \leq c_k(\rho) \text{ when } |t|_\alpha \leq \rho \tag{2.12}$$

for all $k \in \mathbb{N}$. Since $c_k(\rho) \in \ell_{1,\beta}$, there exists a $N \in \mathbb{N}$ such that $\beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k(\rho) \dot{<} \frac{\varepsilon}{3} \beta$. Since $f(k, \cdot)$ is $*$ -uniformly continuous on $[\dot{0} \dot{+} \rho, \rho]$ for all $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$, there exists a $\delta \in \mathbb{R}_\alpha$ with $\dot{0} \dot{<} \delta \dot{<} \dot{1}$ such that

$$|f(k, t) \dot{-} f(k, s)|_\beta \dot{<} \frac{\varepsilon}{3 \dot{\times} (\dot{N} \dot{-} \dot{1})} \beta \text{ when } |t \dot{-} s|_\alpha \dot{<} \delta \tag{2.13}$$

for $t, s \in [\dot{0} \dot{+} \rho, \rho]$. Let $x = (x_k), y = (y_k) \in B_\alpha[\dot{0}, \rho]$ with $\|x \dot{-} y\|_{c_{0,\alpha}} \dot{<} \delta$. Then $|x_k|_\alpha \leq \rho, |y_k|_\alpha \leq \rho$ and $|x_k \dot{-} y_k|_\alpha \dot{<} \delta$ for all $k \in \mathbb{N}$. By inequality 2.13

$$|f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \dot{<} \frac{\varepsilon}{3 \dot{\times} (\dot{N} \dot{-} \dot{1})} \beta$$

is obtained for all $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$. Then

$$\beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \dot{<} \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.14}$$

is found. By 2.12, $|f(k, x_k)|_\beta \leq c_k(\rho)$

and $|f(k, y_k)|_\beta \leq c_k(\rho)$ are obtained for all $k \in \mathbb{N}$.

Therefore

$$\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \leq \beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k(\rho) \dot{<} \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.15}$$

and

$$\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, y_k)|_\beta \leq \beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k(\rho) \dot{<} \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.16}$$

are written. In view of 2.14, 2.15 and 2.16,

$$\begin{aligned} \| {}_N P_f(x) \dot{-} {}_N P_f(y) \|_{\ell_{1,\beta}} &= \sum_{k=1}^{\infty} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \\ &= \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta + \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \\ &\dot{<} \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta + \beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta + \beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, y_k)|_\beta \\ &\dot{<} \frac{\varepsilon}{3} \beta + \frac{\varepsilon}{3} \beta + \frac{\varepsilon}{3} \beta \\ &= \varepsilon \end{aligned}$$

is obtained. Thus the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of $c_{0,\alpha}$.

Example2

Let function $f : \mathbb{N} \times \mathbb{R}_\alpha \rightarrow \mathbb{R}_\beta$ be defined

$$\text{as } f(k, t) = \frac{|t(t)|_\beta}{\dot{\gamma}^{k\beta}} \beta \text{ for all } k \in \mathbb{N} \text{ and } t \in \mathbb{R}_\alpha.$$

Then $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous for all $k \in \mathbb{N}$. Let $\mu = \dot{1}$ and

let $c_k = \frac{\dot{1}}{\dot{\gamma}^{k\beta}} \beta$ for all $k \in \mathbb{N}$. It is obtained

$$\text{that } f(k, t) = \frac{|t(t)|_\beta}{\dot{\gamma}^{k\beta}} \beta \leq c_k \text{ for all } k \in \mathbb{N} \text{ and for } t \in \mathbb{R}_\alpha$$

with $|t|_\alpha \leq \mu$. Hence we get that ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$ by Theorem 1. Let $\varphi \dot{>} \dot{0}$ and $t \in \mathbb{R}_\alpha$. If $|t|_\alpha \leq \varphi$ for all $k \in \mathbb{N}$,

$$|f(k, t)|_\beta \leq \frac{t(\varphi)}{\dot{\gamma}^{k\beta}} \beta$$

is found. We get $(c_k(\varphi)) \in \ell_{1,\beta}$ if $(c_k(\varphi)) = \left(\frac{t(\varphi)}{\dot{\gamma}^{k\beta}} \beta \right)$ be

taken. Then $|f(k, t)|_\beta \leq (c_k(\varphi))$ is written for all $k \in \mathbb{N}$. By

Theorem 3, the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -bounded. Thus the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of $c_{0,\alpha}$ by Theorem 7.

Theorem 8

Let non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f : c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$ be given. The non-Newtonian superposition

operator ${}_N P_f$ is $*$ -continuous on c_α if and only if function $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous on \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$.

Proof

The necessity condition of theorem is obvious from Proposition 1. Conversely assume that $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous on \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$. Let $x = (x_k) \in c_\alpha$ and β -number $\varepsilon \succ \dot{0}$ be given. The function f satisfies the condition (NA_2) . Since ${}_N P_f : c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$, there exist an α -number $\mu \succ \dot{0}$ and a β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ corresponding to each $z \in \mathbb{R}_\alpha$ such that

$$|f(k, t)|_\beta \preceq c_k \quad \text{whenever} \quad |t \dot{-} z|_\alpha \preceq \mu \tag{2.17}$$

for all $k \in \mathbb{N}$ by Theorem 2. Since $x \in c_\alpha$, there exists $a \in \mathbb{R}_\alpha$ such that ${}^\alpha \lim_{k \rightarrow \infty} |x_k \dot{-} a|_\alpha = \dot{0}$. Then there exist an α -number $\mu \succ \dot{0}$ and a β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$

$$|f(k, t)|_\beta \preceq c_k \quad \text{when} \quad |t \dot{-} a|_\alpha \preceq \mu \tag{2.18}$$

for all $k \in \mathbb{N}$ by 2.17. Since ${}^\alpha \lim_{k \rightarrow \infty} |x_k \dot{-} a|_\alpha = \dot{0}$ and $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$, there exists $N \in \mathbb{N}$ such that

$$|x_k \dot{-} a|_\alpha \preceq \frac{\mu}{2} \alpha \quad \text{and} \quad \beta \sum_{k=N}^\infty c_k \preceq \frac{\varepsilon}{3} \beta$$

for all $k \geq N$. By 2.18, it is obtained that $|f(k, x_k)|_\beta \preceq c_k$ for all $k \geq N$. Then

$$\beta \sum_{k=N}^\infty |f(k, x_k)|_\beta \preceq \beta \sum_{k=N}^\infty c_k \preceq \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.19}$$

is written. Since the function $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous at x_k for all $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$, there exists an α -number $\delta \succ \dot{0}$ with $\delta \prec {}^\alpha \min \left\{ 1, \frac{\mu}{2} \alpha \right\}$ such that

$$|f(k, t) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \preceq \frac{\varepsilon}{3 \ddot{\times} (\ddot{N} \dot{-} 1)} \beta \quad \text{when} \quad |t \dot{-} x_k|_\alpha \prec \delta \tag{2.20}$$

for all $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$ and $t \in \mathbb{R}_\alpha$. Let $z \in c_\alpha$ be given such that $\|z \dot{-} x\|_{c,\alpha} \prec \delta$. Then $|z_k \dot{-} x_k|_\alpha \prec \delta$. By 2.20,

$$|f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \preceq \frac{\varepsilon}{3 \ddot{\times} (\ddot{N} \dot{-} 1)} \beta$$

for $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$. From here,

$$\beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \preceq \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.21}$$

is written. Then

$$|z_k \dot{-} a|_\alpha \preceq |z_k \dot{-} x_k|_\alpha \dot{+} |x_k \dot{-} a|_\alpha \prec \delta \dot{+} \frac{\mu}{2} \alpha \prec \frac{\mu}{2} \alpha \dot{+} \frac{\mu}{2} \alpha = \mu$$

for all $k \geq N$ and by virtue of 2.18 $|f(k, z_k)|_\beta \preceq c_k$ is obtained for all $k \geq N$. Hence

$$\beta \sum_{k=N}^\infty |f(k, z_k)|_\beta \preceq \beta \sum_{k=N}^\infty c_k \preceq \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.22}$$

is written. By inequalities 2.19, 2.21 and 2.22,

$$\begin{aligned} \|{}_N P_f(z) \dot{-} {}_N P_f(x)\|_{\ell_{1,\beta}} &= \beta \sum_{k=1}^\infty |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \\ &= \beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \dot{+} \beta \sum_{k=N}^\infty |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \\ &\preceq \beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, z_k) \dot{-} f(k, x_k)|_\beta \dot{+} \beta \sum_{k=N}^\infty |f(k, z_k)|_\beta \dot{+} \beta \sum_{k=N}^\infty |f(k, x_k)|_\beta \\ &\preceq \frac{\varepsilon}{3} \beta \dot{+} \frac{\varepsilon}{3} \beta \dot{+} \frac{\varepsilon}{3} \beta \\ &= \varepsilon \end{aligned}$$

is obtained. This completes the proof.

Theorem 9

Let ${}_N P_f : c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$. The non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of c_α if and only if the function f satisfies the condition (NA_2) and the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -bounded.

Proof

Assume that ${}_N P_f : c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of c_α . By virtue of Proposition 1, $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous for all $k \in \mathbb{N}$. The function f satisfies the condition (NA_2) since it satisfies the condition (NA_2) . Let α -number $\gamma \succ \dot{0}$ and $x = (x_k) \in c_\alpha$ be given such that $\|x\|_{c,\alpha} \preceq \gamma$. By Theorem 2, there exist α -number $\mu \succ \dot{0}$ and β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ corresponding to each $z \in \mathbb{R}_\alpha$ such that

$$|f(k, t)|_\beta \preceq c_k \quad \text{when} \quad |t \dot{-} z|_\alpha \preceq \mu \tag{2.23}$$

for all $k \in \mathbb{N}$ since ${}_N P_f : c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$. There exists an $a \in \mathbb{R}_\alpha$ such that

$${}^\alpha \lim_{k \rightarrow \infty} |x_k \dot{-} a|_\alpha = \dot{0} \tag{2.24}$$

since $x \in c_\alpha$. By 2.23, there exist α -number $\mu \dot{>} \dot{0}$ and β -sequence $(c_k) \in \ell_{1,\beta}$ such that

$$|f(k, t)|_\beta \dot{\leq} c_k \text{ when } |t \dot{-} a|_\alpha \dot{\leq} \mu. \tag{2.25}$$

In view of 2.24, there exists a $N \in \mathbb{N}$ such that

$$|x_k \dot{-} a|_\alpha \dot{\leq} \mu \tag{2.26}$$

for all $k \geq N$. By 2.25 and 2.26, it is said that $|f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} c_k$ for all $k \geq N$. Then

$${}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} {}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{\leq} {}_\beta \sum_{k=1}^{\infty} |c_k|_\alpha = \|(c_k)\|_{\ell_{1,\beta}} \tag{2.27}$$

is obtained. Let $m_k = {}^\beta \sup_{|t|_\alpha \dot{\leq} \gamma} |f(k, t)|_\beta$ for all $k \in \mathbb{N}$.

Since f satisfies the condition (NA_2') , it is found that $m_k \dot{\leq} \dot{\infty}$ for all $k \in \mathbb{N}$. Since $\|x\|_{c,\alpha} \dot{\leq} \gamma$, $|x_k|_\alpha \dot{\leq} \gamma$ for all $k \in \mathbb{N}$. Hence we get that

$$|f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} m_k \tag{2.28}$$

for all $k \in \mathbb{N}$. By 2.27 and 2.28,

$$\begin{aligned} \|{}_N P_f(x)\|_{\ell_{1,\beta}} &= {}_\beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k)|_\beta \dot{+} {}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \\ &\dot{\leq} {}_\beta \sum_{k=1}^{N-1} m_k \dot{+} \|(c_k)\|_{\ell_{1,\beta}} \end{aligned}$$

is obtained. Then the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -bounded.

Conversely, assume that function f satisfies the condition (NA_2) and the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -bounded. To show that the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of c_α , it must be shown that ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on α -ball $B_\alpha[\dot{0}, \varphi]$ for all $\varphi \dot{>} \dot{0}$.

Let $\varphi \dot{>} \dot{0}$ and $\varepsilon \dot{>} \dot{0}$ be given. Since ${}_N P_f$ is $*$ -bounded, by Theorem 4 there exists a β -sequence $c_k \in \ell_{1,\beta}$ such that

$$|f(k, t)|_\beta \dot{\leq} c_k \text{ when } |t|_\alpha \dot{\leq} \varphi \tag{2.29}$$

for all $k \in \mathbb{N}$. Since $c_k \in \ell_{1,\beta}$, there exists $N \in \mathbb{N}$ such that ${}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{\leq} \frac{\varepsilon}{3} \beta$. Since $f(k, \cdot)$ is $*$ -uniformly continuous

on $[\dot{0} \dot{-} \varphi, \varphi]$ for all $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$, there exists a $\delta \in \mathbb{R}_\alpha$ with $\dot{0} \dot{<} \delta \dot{<} \dot{1}$ such that

$$|f(k, t) \dot{-} f(k, s)|_\beta \dot{\leq} \frac{\varepsilon}{3 \times (\ddot{N} \dot{-} \ddot{1})} \beta \text{ when } |t \dot{-} s|_\alpha \dot{\leq} \delta \tag{2.30}$$

for $s, t \in [\dot{0} \dot{-} \varphi, \varphi]$. Let we take $x = (x_k)$, $y = (y_k) \in B_\alpha[\dot{0}, \varphi]$ with $\|x \dot{-} y\|_{c,\alpha} \dot{\leq} \delta$. Then $|x_k|_\alpha \dot{\leq} \varphi$, $|y_k|_\alpha \dot{\leq} \varphi$ and $|x_k \dot{-} y_k|_\alpha \dot{\leq} \delta$ are written for all $k \in \mathbb{N}$. By using inequality 2.30,

$$|f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \dot{\leq} \frac{\varepsilon}{3 \times (\ddot{N} \dot{-} \ddot{1})} \beta$$

is obtained for all $k \in \{1, 2, \dots, N-1\}$. Hence

$${}_\beta \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \dot{\leq} \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.31}$$

is found. By virtue of 2.31 $|f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} c_k$ and $|f(k, y_k)|_\beta \dot{\leq} c_k$ are obtained for all $k \in \mathbb{N}$. Therefore

$${}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \dot{\leq} {}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{\leq} \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.32}$$

and

$${}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, y_k)|_\beta \dot{\leq} {}_\beta \sum_{k=N}^{\infty} c_k \dot{\leq} \frac{\varepsilon}{3} \beta \tag{2.33}$$

are found. In view of inequalities 2.31, 2.32 and 2.33,

$$\begin{aligned} \|{}_N P_f(x) \dot{-} {}_N P_f(y)\|_{\ell_{1,\beta}} &= \sum_{k=1}^{\infty} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \\ &= \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \dot{+} \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \\ &\dot{\leq} \sum_{k=1}^{N-1} |f(k, x_k) \dot{-} f(k, y_k)|_\beta \dot{+} \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, x_k)|_\beta \dot{+} \sum_{k=N}^{\infty} |f(k, y_k)|_\beta \\ &\dot{\leq} \frac{\varepsilon}{3} \beta \dot{+} \frac{\varepsilon}{3} \beta \dot{+} \frac{\varepsilon}{3} \beta \\ &= \varepsilon \end{aligned}$$

is obtained. Thus the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of c_α .

3. Results and Discussion

In this paper we defined $*$ -continuity and $*$ -uniform continuity of operator. We proved that ${}_N P_f : c_{0,\alpha} \rightarrow \ell_{1,\beta}$ is $*$ -continuous on $c_{0,\alpha}$ if and only if function $f(k, \cdot)$ is $*$ -continuous on \mathbb{R}_α for all $k \in \mathbb{N}$. Also we obtained that ${}_N P_f : c_\alpha \rightarrow \ell_{1,\beta}$ is $*$ -uniformly continuous on every α -bounded subset of c_α if and only if the function f satisfies the condition (NA_2) and the non-Newtonian superposition operator ${}_N P_f$ is $*$ -bounded.

References

- Grossman, M. And Katz, R. (1972), "Non-Newtonian Calculus", 1st ed., Lee Press, Pigeon Cove Massachussets.
- Dedagich, F. and Zabreiko, P.P (1987), "Operator superpositions in the spaces l_p ", Sibirskii Matematicheskii Zhurnal, 28, 86-98.
- Thuangoon, A. (1998), "Continuity of superposition operators on some sequence spaces of Maddox", Master of Sciences Dissertation, Graduate School of Chiang Mai University, 66, Thailand.
- Çakmak, A.F. and Başar, F. (2012), "Some new results on sequence spaces with respect to non-Newtonian calculus", Journal of Inequalities and Applications, vol. 228, no.1, 1-17.
- Duyar, C., Sağır, B. and Oğur, O. (2015), "Some basic topological properties on non-Newtonian real line", British Journal of Mathematics and Computer Science, 9:4, 300-307.
- Sağır, B. and Güngör, N. (2015a), "Continuity of Superposition Operators on the Double Sequence Spaces L_p ", Filomat, 9, 2017-2118.
- Sağır, B. and Güngör, N. (2015b), "Locally Boundedness and Continuity of Superposition Operators on the Double Sequence Spaces C_{r0} ", Journal of Computational Analysis and Applications, vol. 19(2), 365-377.
- Duyar, C. and Erdogan, M. (2016), "On non-Newtonian real number series", IOSR Journal of Mathematics, vol. 12, iss. 6, ver. IV, 34-48.
- Güngör, N. and Sağır, B. (2017), "Continuity of Superposition Operators on Double Sequence Spaces of Maddox L_p ", Iranian Journal of Science and Technology Transactions A: Science, doi:10.1007/s40995-017-0266-1.
- Sağır, B. and Erdoğan, F. (2019a), "On Characterization of Non-Newtonian Superposition Operators in Some Sequence Spaces", Filomat, 33:9, 2601-2612.
- Sağır, B. and Erdoğan, F. (2019b), "On Function Sequences and Series in the Non-Newtonian Calculus", Journal of Science and Arts, 4(49), 915-936.
- Erdoğan, F. and Sağır, B. (2021), "On $*$ - Boundedness and $*$ -Local Boundedness of Non-Newtonian Superposition Operators in $c_{0,\alpha}$ and c_α to $l_{1,\beta}$ ", Journal of Universal Mathematics, 4(2), 241-251.
- Sager, N. and Sağır, B. (2021), "Some inequalities in quasi-Banach algebra of non-Newtonian bicomplex numbers", Filomat, 35(7).



Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 1, X Işını Difraksiyonu Analizi

Ömer Laçın^{1*}, Bünyamin Dönmez¹

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-5276-3056), olacin@atauni.edu.tr

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-7680-0755), bdonmez@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Laçın, O. & Dönmez, B. (2021). Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 1, X Işını Difraksiyonu Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 968-971.

Öz

Grafen Oksit, 2 boyutlu ve oksijen içeren fonksiyonel grupların yer aldığı karbon esaslı bir malzemedir. Son yıllarda grafen oksit esaslı malzemeler, bilim adamları tarafından çok büyük bir ilgi görmektedir. Grafen oksidin özellikleri; morfolojisine, doğasına ve reaksiyon şartlarına bağlı olmasından dolayı farklı şartlarda sentezlenen grafen oksidin özellikleri de farklı olmaktadır. Dolayısıyla literatüre giren her bir grafen oksit sentez çalışmasının önemli bir katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, Hummers yönteminde kullanılan sodyum nitrat konsantrasyonu değiştirilerek elde edilen sentezlerin başarılı bir şekilde grafen oksite dönüşüp dönüşmediği ve değişen yapısal özellikleri X ray Difraksiyonu analizi ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarından hegzagonal grafit kristalinde; 20:26,53°'ye ait karakteristik keskin pikin, kimyasal oksidasyon sonrası kaybolup 20:11,53°'de yeni bir pikin oluştuğu, d tabaka aralığının 0,34 nm'den 0,77 nm'ye genişlediği, kristal çapın 34,56 nm'den ortalama 7,22 nm'ye azaldığı ve tabaka sayısının 102'den 9'a düştüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak bu şartlarda elde edilen sentezlerin, farklı özelliklere sahip grafen oksit örnekleri olduğu ve literatür ile uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Grafit, Grafen oksit, Hummers Yöntemi, Nanomalzeme, X-Ray Difraksiyonu

For Graphene Oxide Synthesis Obtained by Modified Hummers Method: Part 1, X-Ray Diffraction Analysis

Abstract

Graphene Oxide is a carbon-based material with 2-dimensional and oxygen-containing functional groups. In recent years, graphene oxide-based materials have attracted great interest by scientists. Properties of graphene oxide; Since it depends on its morphology, nature and reaction conditions, the properties of graphene oxide synthesized under different conditions are also different. Therefore, every graphene oxide synthesis study that enters the literature makes an important contribution. In this study, whether the syntheses obtained by changing the sodium nitrate concentration used in the Hummers method were successfully converted to graphene oxide and their changing structural properties were investigated by X-ray diffraction analysis. From the analysis results, it was determined that in the hexagonal graphite crystal; the characteristic sharp peak at 20:26.53° disappears after chemical oxidation and a new peak forms at 20:11.53°, the d layer spacing expands from 0.34 nm to 0.77 nm, the crystal diameter decreases from 34.56 nm to an average of 7.22 nm, and the number of layers decreases from an average of 102 to an average of 9. Accordingly, it can be said that the syntheses obtained under these conditions are graphene oxide samples with different properties and are in agreement with the literature.

Keywords: Graphite, Graphene oxide, Hummers Method, Nanomaterial, X-Ray Diffraction

1. Giriş

Karbonun yaygın allotroplarından olan grafit kristali, altıgen şeklinde dizilen karbon atomlarının birbirine güçlü kovalent bağları ve düzlemler arasının ise zayıf Van Der Waals bağlarıyla bağlanarak üç boyutlu bir yapı sergiler. Van Der Waals bağlarının zayıf olmaları sebebiyle tabakalar birbirlerinden çok kolay bir şekilde ayrılabilirler. Grafitin düşük maliyetli, kolay elde edilebilirliği, grafit oksit ile onun türevlerinden oluşan kompozit malzemelere ve grafene kolaylıkla dönüştürülebilmesi nedeniyle son yıllarda çok büyük bir ilgi görmektedir [1-2].

Grafen Oksit (GO), 2 boyutlu, oksijen içeren fonksiyonel grupların olduğu karbon esaslı bir malzeme olup grafitin oksidasyonundan grafit oksite ve sonra çok sayıdaki tabakaların ayrışmasıyla grafit oksite kolayca dönüşebilmektedir. GO, yapısındaki oksijen içeren fonksiyonel gruplarının, sp^2 hibritleşmesi yapan karbon atomlarının sp^3 hibritleşmesi yapan karbon atomlarına oranının kontrol edilebilir olması, ayarlanabilir elektronik ve optik özelliklere sahip olmasıyla birlikte hidrofiliklik, ve suda çok iyi disperse olabilmesi nedeniyle; enerji depolamadan biyomedikale, kaplama teknolojilerinden savunma sanayiine kadar geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Sentez aşamalarında, hem reaktanlar hem de yan ürünlerin tehlikeli kimyasallar içermesinden dolayı, bunları minimize etme adına son yıllarda grafitten grafit oksit eldesi üzerine oldukça fazla çalışma yapılmaktadır [3-8].

Grafen oksitin özellikleri; morfolojisine, doğasına ve reaksiyon şartlarına bağlı olduğundan, farklı şartlarda sentezlenen grafit oksitin özellikleri de farklı olmaktadır. Dolayısıyla sentezlenen her grafit oksit literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır [9].

Grafen Oksit üretmek için yapılan araştırmalarda en uygun yöntemin; üretim kolaylığı, sentez süresinin kısa oluşu, maliyetinin düşük ve yan ürünlerinin diğer yöntemlere göre daha az toksik olmasından dolayı, Hummers yöntemi [10] olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemde grafitin, $KMnO_4$, konsantre H_2SO_4 ve $NaNO_3$ karışımı ile reaksiyona sokulmasıyla oksidasyon gerçekleştirilmiştir. Permanganat yaygın olarak kullanılan bir oksidan olmasına rağmen gerçek aktif tür, aromatik yapılar üzerindeki doymamış alifatik çift bağları seçici olarak oksitleyebilen Mn_2O_7 'dir [11]. GO üretim yöntemlerinin ortak dezavantajları toksik ve tehlikeli kimyasalların kullanılması ve üretim prosesi esnasında bir takım zehirli gazların ortaya çıkmasıdır. Hummers yönteminin avantajları; patlayıcı özelliğe sahip ClO_2 yerine $KMnO_4$ gibi kuvvetli bir oksitleyici ajan kullanımı ve beraberinde reaksiyon süresinin kısaltılması ve dumanlı asit buharı oluşturan nitrik asit yerine sodyum nitrat kullanılmasıdır. Bu yöntemin dezavantajları ise; NO_2 ve N_2O_4 gibi toksik gazların oluşması, $KMnO_4$ 'ün $95\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde patlama riski ve kristal kafese hapsolan sulu çözeltideki Na^+ ve NO_3^- iyonlarının uzaklaştırılma zorluğudur [12].

Bu yüzden Hummers yöntemi, bazı çalışmalarda modifiye edilerek bu dezavantajları azaltma yolları araştırılmıştır. Bu çalışmaların bazılarında, reaksiyon şartları değiştirilmiş, $KMnO_4$ yerine K_2FeO_4 kullanılmış, $NaNO_3$ yerine ise konsantre asit miktarı artırılmış veya H_2SO_4 ile birlikte H_3PO_4 kullanılmıştır [13].

Bu çalışmada, Hummers yöntemindeki $NaNO_3$ konsantrasyonu değiştirilerek elde edilen ürünlerin uygun bir şekilde grafit oksite dönüşüp dönüşmediği ve değişen yapısal özelliklerinin, X-ışını difraksiyon (XRD) analizi ile incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar; grafit ince toz (merck 325 meş), sodyum nitrat (merck), %98'lik sülfürik asit (merck), potasyum permanganat (merck), ultra deiyonize su, %30'luk hidrojen peroksit (merck) ve %37 'lik hidroklorik asit (fluka).

2.2. Deneysel için Kullanılan Materyaller

Ultrasonik banyo 150w (çalışkan lab.), ısıtıcı manyetik karıştırıcı (ıka yellowline msh basic), pH metre (mettler toledo), santifürj cihazı, etüv, termometre, 250 ml'lik cam reaktör ve çeker ocak.

2.3. Modifiye Hummers Yöntemi ile Grafen Oksit Sentezleri

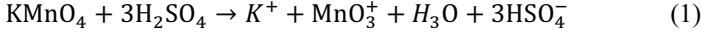
Bu çalışmada, ara katmanlarda safsızlık olarak bulunan azot türevli yapıların oranının azaltılması veya tamamen giderilebilmesi için, Hummers yönteminde kullanılan sodyum nitrat konsantrasyonu, $0-1\text{g.NaNO}_3,23\text{mL}^{-1}$ asit aralığında değiştirilerek dört farklı GO sentezi elde edilmiştir. Elde edilen 4 GO numunesine $NaNO_3$ 'ün artan konsantrasyonuna göre sırasıyla, GO-Na0; GO-Na0,25; GO-Na0,50 ve GO-Na1 kodları verilmiştir.

Bütün deneylerde toplam reaksiyon süresi, ortalama 4 saate düşürülmüştür. Az tabakalı GO'ü sentezleyebilmek için ultrasonifikasyonla muamele yoluna gidilmiştir.

2.4. Deneysel Sistem

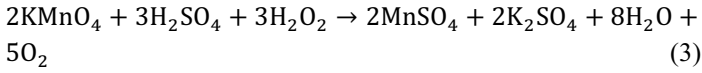
Grafen oksit sentezi için deneysel akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Reaksiyon boyunca uygulanan karıştırma hızı, homojen bir süspansiyonun elde edildiği 500 rpm olarak belirlenmiştir. Reaksiyonun gerçekleşeceği 250 mL'lik reaktöre, 1 g grafit tozu, 0-1g aralığında değişen $NaNO_3$ ve 23 mL H_2SO_4 ilave edilerek 30 dk karıştırıldıktan sonra literatürdeki diğer modifiye Hummers yöntemlerinden farklı olarak, 40 dakika boyunca $-15\text{ }^\circ\text{C}$ 'de dondurucuda bekletilmiştir. Numune buz banyosunda $0\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye getirilmiş ve karışıma patlama riskini minimize etmek için yaklaşık 1 saat süre içerisinde kademeli olarak ve sıcaklık $5\text{ }^\circ\text{C}$ yi geçmeyecek şekilde kontrollü bir

kariştirmayla 3 g KMnO₄ ilave edilerek Eşitlik (1 ve 2) oksidasyon reaksiyonları gerçekleştirilmiştir.

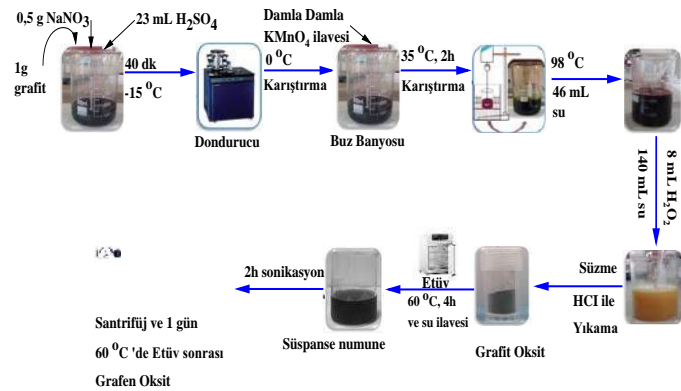


Reaksiyonda oluşan HSO₄⁻ iyonları grafit bazal düzlemine saldırırken, Na⁺ iyonları grafit tabakaları arasına girer ve burada d aralığını genişletir [14].

Reaksiyon sonunda elde edilen koyu yeşil renkli grafit oksidi, mekanik olarak grafen okside dönüştürmek amacıyla, sıcaklık 35 °C'ye ayarlanıp 50 °C'yi geçmeyecek şekilde numune 2 saat boyunca kariştirilmiştir. Süre sonunda açık kahverenkli karişımın sıcaklığı 98 °C'ye yükseltilip 46 mL ultra saf su, kontrollü bir biçimde ilave edilmiştir. Bu esnada çıkan gazların renginin mor olduğu gözlenmiştir. 98 °C'de tutulan nihai karişım 15 dk boyunca kariştirıldıktan sonra rengin koyu kahverengiye döndüğü gözlenmiştir. Daha sonra, 140 mL ultra saf su ve 8 mL H₂O₂ ilavesiyle renk sarıya dönüşmüş ve KMnO₄ fazlası Eşitlik (3)'de gösterildiği gibi suda çözünen mangan sülfat tuzuna dnştrlmştir.



Elde edilen son karişım 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletildikten sonra szlmştir. Katı numune, bünyesindeki metal iyonlarını gidermek için %10'luk HCl ile ve sonrasında ortamdaki reaksiyona girmeyen asit fazlasını gidermek için saf su ile pH 7 olana kadar birkaç kez yıkanmıştır. Karişım etüde 4 saat 60 °C'de kurutulduktan sonra saf su ilave edilerek elde edilen grafen oksit süspansiyonu 2 saat boyunca sonikasyona (güç: 150 W ve frekans: 33 KHz) tabi tutulmuş ve 5 dk boyunca 3000 dev.dk⁻¹ hız ile santifürüj edilerek çözeltisinden ayrılmıştır. Son olarak, katı numune 60 °C'de etüde 1 gün boyunca kurutularak grafen oksit sentezi gerçekleştirilmiştir.



şekil 1. Grafen Oksit Sentezi için Deneysel Akış şeması

2.5. X Ray Difraksiyonu Analizi

XRD analizi, örneklerde karakteristik pikleri, grafit tabakalar ile kristalin özellikler arasındaki ara katman aralığını, kristal çaplarını ve tabaka sayılarını tahmin etmede kullanılır. Bragg denklemi ile (Eşitlik 4) d aralığı ve Scherrer denklemi ile (Eşitlik e-ISSN: 2148-2683

5) kristal çapı belirlenir. Ayrıca, Grafit ve ortalama GO tabaka sayısı (t_n) ise, kristal çapının d aralığına oranı ile hesaplanır.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (4)$$

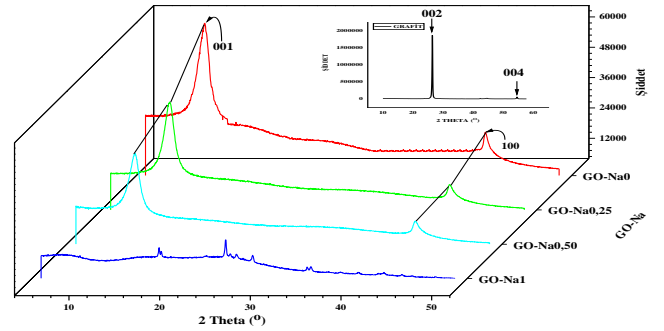
$$D = \frac{b\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (5)$$

Burada λ, ışının dalga boyu; d, kafes düzlemleri arasındaki boşluk; θ; X ışınının yaptığı açı; n; tamsayı olan yansıma sayısı, b; şekil faktörü ve β; maksimum pikin yarı genişliği (FWHM)'nin radyan cinsinden değeridir.

XRD alışmaları, X-ışını kaynağı olarak Cu Kα radyasyonuna sahip bir PANalytical Empyrean difraktometresi kullanılarak 0.0001 minimum adım boyutu ile 2θ: 5-90° aralığında taranarak yapılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Grafit ve sentezlenen GO'ların XRD modelleri şekil 2'de grafik edilmiş olup buradaki verilerden faydalanarak hesaplanan d aralığı, kristal çapı ve tabaka sayıları Tablo 1'de verilmiştir.



şekil 2. Grafit ve GO-Na'un XRD Modelleri

Tablo 1. Grafit ve GO-Na rneklerinin d, D ve t_n değerleri.

Numune	hkl	2θ (°)	Pik Alanı (%)	d (nm)	FWHM (°)	D ₀₀₁ (nm)	t _n
Grafit	002	26,53	97	0,34	0,2362	34,56	102
	004	54,64	3	0,17	0,3937		
GO-Na0	001	11,53	75	0,77	1,0236	7,80	10
	100	42,51	25	0,21	0,7874		
GO-Na0,25	001	11,53	77	0,77	1,2075	6,61	9
	100	42,38	23	0,21	0,7350		
GO-Na0,50	001	11,53	75	0,77	1,1025	7,24	9
	100	42,45	25	0,21	0,8400		
GO-Na1	001	18,25	-	0,49	0,4725	17,03	35
	100	-	-	-	2,5200		

4. Sonuç

şekil 2 ve Tablo 1'den faydalanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

XRD desenlerinden, grafit ve kimyasal oksidasyon sonrası sentezlenen GO-Na rnekleri incelendiğinde, grafit yapısının oksidasyon işlemlerinden sonra önemli derecede değişikliğe uğradığı gözlenmiştir.

Hegzagonal grafit kristalinde, 0,34 nm'lik bir ara tabaka mesafesine karşılık gelen 20:26,53°de keskin bir 002 (%97 alanlı) piki ve 0,17 nm'lik bir ara tabaka mesafesine karşılık gelen 20:54,64°de ise zayıf 004 (%3 alanlı) piki gözlenmiştir. Bu değerlerin literatürde geçen çalışmalara ait grafit piklerinin değerleri ile uyum içerisinde oldukları belirlenmiştir [15-17].

GO kristallerinde (GO-NaI hariç), 0,77 nm'lik ara tabaka mesafesine karşılık gelen 20:11,53°de keskin bir 001 (yaklaşık %75 alanlı) piki ve 0,21 nm'lik ara tabaka mesafesine karşılık gelen 20:~42,45°de zayıf 100 (yaklaşık %25 alanlı) piki gözlenmiştir.

Grafitteki 20:26,53°de karakteristik keskin pikin, kimyasal oksidasyon sonrası kaybolması ve 20:11,53°de GO için yeni bir pikin oluşması ve d tabaka aralığının 0,34 nm'den 0,77 nm'ye genişlemesi (%126'lık bir artış), sentezlerin başarılı bir şekilde gerçekleştiğinin göstergesidir (GO-NaI hariç). Çünkü, GO'ya ait karakteristik pikin literatür değeri yaklaşık 20~11°dir, bu çalışmada 20:11,53°e kaymasının yöntem farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir [18-19]. GO'nun karakteristik d aralığı, oksidasyon derecesine bağlı olarak genellikle 0.7 ile 0.8 nm arasında değişmektedir [20].

Dolayısıyla, oksidasyondan sonra grafit bazal düzleminin merkezine ve kenarlarına oksijen içeren fonksiyonel grupların girmesi interkalasyonu ve bu grupların mevcut suyu absorplaması sonucu ara tabaka mesafesinin genişlemesiyle ortaya çıkan bu yeni yapıların literatürdeki GO sentezleriyle uyum içerisinde oldukları söylenebilir [15-17].

Grafitte 20:26,53°de keskin karakteristik 002 düzlemine karşılık gelen pike göre, kristal çapı yaklaşık 34,56 nm ve tabaka sayısı 102 olarak hesaplanmıştır. Oksidasyondan sonra sentezlenen GO örneklerinde ise 20:11,53°de karakteristik 001 düzlemine karşılık gelen pike göre kristal boyutu ortalama 7,22 nm ve tabaka sayısı ortalama 9'a düşmüştür. Bu sonuç, GO-NaI hariç diğer sentezlerin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ortaya koyabilir.

Yapılan deneysel çalışma sonuçları ışığında, verilen şartlarda elde edilen sentezlerin, farklı özelliklere sahip grafit oksit örnekleri oldukları ve literatür ile de uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi BAPSİS Birimi tarafından Temel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Kaynakça

[1] Moosa, A., and Abed, M. (2021). Graphene preparation and graphite exfoliation. *Turkish journal of Chemistry*, 45(3),493-519.

[2] Dresselhaus, G., Dresselhaus, M. S., & Saito, R. (1998). *Physical properties of carbon nanotubes*. World scientific.

[3] Brisebois, P. P., & Siaj, M. (2020). Harvesting graphene oxide—years 1859 to 2019: a review of its structure,

synthesis, properties and exfoliation. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(5), 1517-1547.

[4] Paulchamy, B., Arthi, G., & Lignesh, B. D. (2015). A simple approach to stepwise synthesis of graphene oxide nanomaterial. *J Nanomed Nanotechnol*, 6(1), 1.

[5] Tiyek, İ., Dönmez, U., Yıldırım, B., Alma, M. H., Ersoy, M. S., & Karataş, Ş. (2016). Kimyasal yöntem ile indirgenmiş grafit oksit sentezi ve karakterizasyonu. *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 349-357.

[6] Huang, X., Qi, X., Boey, F., & Zhang, H. (2012). Graphene-based composites. *Chemical Society Reviews*, 41(2), 666-686.

[7] Sun, L., & Fugetsu, B. (2013). Mass production of graphene oxide from expanded graphite. *Materials Letters*, 109, 207-210.

[8] Chen, J., Yao, B., Li, C., & Shi, G. (2013). An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, 64, 225-229.

[9] Shamaila, S., Sajjad, A. K. L., & Iqbal, A. (2016). Modifications in development of graphene oxide synthetic routes. *Chemical Engineering Journal*, 294, 458-477.

[10] Hummers Jr, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American chemical society*, 80(6), 1339-1339.

[11] Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*, 39(1), 228-240.

[12] Lavin-Lopez, M. D. P., Romero, A., Garrido, J., Sanchez-Silva, L., & Valverde, J. L. (2016). Influence of different improved hummers method modifications on the characteristics of graphite oxide in order to make a more easily scalable method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(50), 12836-12847.

[13] Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., ... & Tour, J. M. (2010). Improved synthesis of graphene oxide. *ACS nano*, 4(8), 4806-4814.

[14] Peng, L., Xu, Z., Liu, Z., Wei, Y., Sun, H., Li, Z., ... & Gao, C. (2015). An iron-based green approach to 1-h production of single-layer graphene oxide. *Nature communications*, 6(1), 1-9.

[15] Zhao, J., Liu, L., & Li, F. (2015). *Graphene oxide: physics and applications* (Vol. 1, p. 161). London, UK: Springer.

[16] Sibirian, R., Sihotang, H., Raja, S. L., Supeno, M., & Simanjuntak, C. (2018). New route to synthesize of graphene nano sheets. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1), 182.

[17] Divya, K. S., Chandran, A., Reethu, V. N., & Mathew, S. (2018). Enhanced photocatalytic performance of RGO/Ag nanocomposites produced via a facile microwave irradiation for the degradation of Rhodamine B in aqueous solution. *Applied Surface Science*, 444, 811-818.

[18] Ullah Khan, F., Mahmood, S., Ahmad, Z., Mahmood, T., & Nizami, Z. A. Graphene oxide synthesis by facile method and its characterization.

[19] ZFan, Z., Wang, K., Wei, T., Yan, J., Song, L., & Shao, B. (2010). An environmentally friendly and efficient route for the reduction of graphene oxide by aluminum powder. *Carbon*, 48(5), 1686-1689.

[20] Huang, H. H., De Silva, K. K. H., Kumara, G. R. A., & Yoshimura, M. (2018). Structural evolution of hydrothermally derived reduced graphene oxide. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.



Mikro Denetleyici Sistemler ile Türk İşaret Dili Kelime Çevirici

Fatih Gökçe^{1*}, Hakan Kekül²

^{1*} Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4009-8914), fgokce58@yahoo.com

² Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6269-8713), hakankekul@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012347)

ATIF/REFERENCE: Gökçe, F. & Kekül, H. (2021). Mikro Denetleyici Sistemler ile Türk İşaret Dili Kelime Çevirici. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 972-977.

Öz

Bu çalışmanın amacı Türkçe dilinde kullanılan kelimelerin işaret dili karşılıklarını, oluşturulan model yardımıyla tespit etmektir. Bu sayede konuşma engelli bireyler ve toplumun geri kalanı arasındaki iletişimin kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Konuşma engelliler ile engelli olmayan bireyler arasında iletişim sağlamak her zaman zor olmuştur. Engelli ve engelli olmayan bireyler arasında iletişimi sağlamak için önerilen yöntem, mikro denetleyici (Arduino), görüntüleme birimi (LCD Panel) ile flex, ivme ve gyro sensörler kullanılmaktadır. Kelimelerin modellenmesi için bir eldiven tasarlanmıştır. İşaret dili çevirici eldiven sayesinde engelli bireylerle engelli olmayan bireyler iletişim sağlayabileceklerdir. İşaret dili çeviriciyi eline takan engelli bir birey işaret dilindeki bir sözcüğü işaret ettiğinde eldiven üzerindeki her bir parmağa denk gelen beş flex, ivme ve gyro sensörlerinden gelen veriler mikro denetleyiciye aktarılır. Mikro denetleyicide işaret dili çevirici eldivenden gelen bu verilere göre işaretin hangi ifadeyi kastettiğini tespit ederek görüntüleme biriminde yazı olarak göstermektedir. İşaret dili çevirici projesinde işaret dilindeki kelimeleri çevirirken Türk işaret dili kullanılmıştır. İşaret dilinde hareketi yapılan bir ifadenin ne anlama geldiğini görüntüleme biriminde göstermek için, örnek olarak seçilen işaret dili hareketlerinin işaret dili çevirici eldiven takılarak yapıldığında elde edilen beş flex sensör verisi, üç ivme verisi ve üç gyro verisi olmak üzere toplam onbir verinin değerleri tespit edilmiştir. Örnek seçilen her işaret dili hareketi için tespit edilen onbir veri kayıtlı edilmiştir. Mikro denetleyici üzerinde çalışan programda bu değerlere göre işaret dili hareketleri sınıflandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Türk İşaret Dili, Flex Sensör, İvme Sensörü, Gyro Sensör, Mikro Denetleyici, Arduino.

Turkish Sign Language Word Converter with Micro Controller Systems

Abstract

The aim of this study is to determine the sign language equivalents of the words used in the Turkish language with the help of the model created. In this way, it is aimed to facilitate communication between speech-impaired individuals and the rest of the society. It has always been difficult to establish communication between speech impaired and non-disabled individuals. The proposed method to provide communication between disabled and non-disabled individuals uses microcontroller (Arduino), display unit (LCD Panel) and flex, acceleration and gyro sensors. A glove was designed to model words. Thanks to the sign language translator glove, disabled individuals and non-disabled individuals will be able to communicate. When a disabled person wearing a sign translator points to a word in sign language, the data from the five flex, acceleration and gyro sensors corresponding to each finger on the glove is transferred to the microcontroller. In the microcontroller, the sign language translator detects which expression the sign means according to this data coming from the glove and displays it as text in the display unit. In the sign language translator project, Turkish sign language was used while translating the words in the sign language. In order to show what an expression in sign language means in the display unit, the values of a total of eleven data, five flex sensor data, three acceleration data and three gyro data, obtained when the selected sign language movements are made by wearing sign language translator gloves, were determined. Eleven data were recorded for each selected sign language gesture. Sign language movements are classified according to these values in the program running on the microcontroller.

Keywords: Turkish Sign Language, Flex Sensor, Acceleration Sensor, Gyro Sensor, Micro Controller, Arduino.

* Sorumlu Yazar: fgokce58@yahoo.com

1. Giriş

Engellik, insanların günlük yaşamsal aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen zihinsel ve fiziksel problemlerdir. Engelli bireyler yaşadıkları sorunlar nedeni ile sosyal toplumdaki uzaklaşabilmektedir. (Burcu, 2015)

Konuşamamak engel nedenlerinden sadece bir tanesidir. Konuşma engelli bireylerin yaşadıkları en büyük problem yaşadıkları toplumla iletişim kuramamalarıdır. Bunun temel nedeni işaret dilinin toplumun diğer bireyleri tarafından anlaşılabilmesidir. Bu sorun konuşma engelli bireylerin kamusal hizmetler dâhil pek çok alanda zorluk yaşamalarına neden olmaktadır. (Öztabak, 2017)

Sarkar vd. (2009) Bangladeş dilinde geliştirdikleri işaret dili çevirmen yazılımı ile işitme engelli bireylerin eğitimlerinde yaşadıkları iletişim problemlerine çözüm üretmeye çalışmışlardır. Ayrıca yöntemlerinin işitme engelli bireylerin yazılı ve işaret dilini öğrenmek için bir araç olarak kullanılabilirliğini vurgulamaktadırlar.

Ku, Chen ve King (2019) İşitme engelli bireylerin toplum içerisinde anlaşılmasındaki güçlüğü çözüm olarak hayatın her noktasında yanımızda bulunan mobil cihazlar üzerinden bir çözüm önermektedir. Amerikan işaret dilindeki üç kelimeyi tahmin etmek için cep telefonlarında çalışan bir uygulama geliştirmişlerdir. Çalışmalarında %80 başarı oranı yakaladıklarını vurgulamaktadırlar. Ayrıca önerdikleri yöntemim işitme engelli bireylerin toplumsal iletişiminde yardımcı olabileceğini belirtmektedirler.

El-Bendary vd. (2010) Arap alfabesinde bulunan harflerin işaret dili hareketlerinden çeviren ArSLAT adını verdikleri çalışmalarını sunmaktadır. Çalışmalarında görüntüler üzerinden harflerin tahminini gerçekleştirmektedirler. Sistemlerinin herhangi bir eldiven veya donanıma ihtiyaç duymadığını özellikle vurgulamaktadırlar. Çalışmalarının sonucunda 30 Arap harfini %91,3 doğruluk değeri ile tahmin ettiklerini belirtmektedirler.

Abhishek, Qubeley ve Ho (2016) çalışmalarında İngiliz alfabesindeki 26 harf ve 0-9 arasındaki rakamları işaret dilinden tahmin eden yöntem önermektedirler. Yöntemleri bir eldiven düzeneği üzerinden karakterleri tanımayı çalışmaktadır. Önerilen yöntemin %92 oranında başarı gösterdiğini belirtmektedirler. Yöntemlerinin muadilleri ile karşılaştırılabilir olduğunu söylemişlerdir.

Yalçın, Ilgaz, Özkul ve Yıldız (2018) çalışmalarında Türkçe alfabedeki harfleri tahmin etmek için bir yöntem önermektedirler. Yöntemleri, oluşturdukları bir eldiven üzerinden elde ettikleri verileri mikro denetleyici üzerinden sınıflandırmak üzere modellenmiştir. İşaret dilinde bulunan harfleri tanımlamak için tek bir eldiven kullandıkları için sadece tek elle oluşturulabilen harfleri sınıflandırmışlardır. Sınıflandırdıkları harf sayısı on beştir.

İşitme kaybı yaşayan bireylerin iletişim araçları işaret dilidir. Dünya genelinde yaklaşık 360 milyon insanın bu problemi yaşadığı tahmin edilmektedir (Warrier vd., 2016). İşaret dilini toplumun geneline öğretmek şuan için mümkün görünmemektedir.

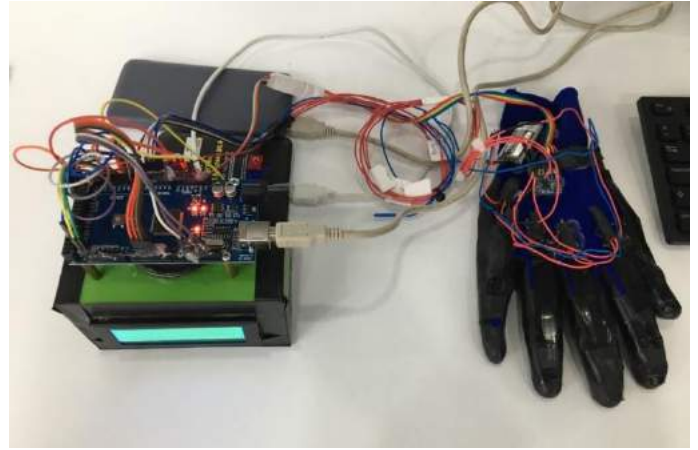
Ancak gelişen teknolojinin bu soruna çözüm üretebileceği düşünülmektedir (Starner, Weaver ve Pentland, 1998). Bu sorunun çözümünde genellikle görüntü işleme tabanlı çözümlere

odaklanılmıştır (Yalçın vd., 2018). Günümüzde hızla gelişen giyilebilir teknolojilerin bu problem özelinde daha başarılı ve kullanılabilir sonuçlar verebileceğini değerlendiriyoruz.

Toplumda engelli bireylerin kullanacağı ve hayatını kolaylaştıracağı sistemlerin eksikliği hissedilmektedir. Konuşma engelliler ile engelli olmayan bireyler arasında iletişim sağlamak her zaman zor olmuştur. Bu durum toplumda büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Yukarıdaki literatür incelendiğinde dünyada bilişim sistemlerinin bu sorunun çözümünde aktif olarak kullanılmaya çalışıldığı açıkça görülmektedir. Dahası pek çok dil üzerinde farklı çalışmalar yapıldığı anlaşılmaktadır. Türk işaret dili üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Ancak literatürden anlaşıldığı üzere çalışmaların geneli harf ve rakam gibi karakterlerin tespit edilmesi üzerinedir. Bu çalışma, karakterleri değil doğrudan iletişimde kullanılan kelimeleri sınıflandırmayı amaçlamıştır. Bunun için günlük kullanımda sıklıkla kullanılan kelimelerin tanımlanması yoluna gidilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Giyilebilir teknolojiler farklı kullanım alanlarının yanında engelli bireylerin ihtiyaçlarını gidermek içinde kullanılmaktadır. Giyilebilir teknolojilerin bir uygulaması da konuşma engelli bireyler için geliştirilen cihazlardır. İşitme engeli olmayan insanların işitme engelli kişiler tarafından kullanılan işaret dilini kolayca anlayabilmeleri için bir iletişim yaklaşımı geliştirmek amacıyla işaret dili çevirici yöntemi önerilmektedir. Bu sebeple konuşma engelli bireyler ile diğer bireyler arasında iletişimi sağlamak için işaret dili çevirici eldiven geliştirilmiştir. Böylece işaret dili tercümanı ihtiyacı ortadan kalkmış olur.



Şekil 1 İşaret dili çevirici sistemi

İşaret dili çevirici sistemi, işaret dili hareketlerinin anlamını LCD panelde gösteren bir el hareketi tanıma sistemi içerir. Örneğin, işitme engelli kişi işaret dili çevirici eldivenini takıp 'Merhaba' hareketi yaptığında, metin çıktısı olarak LCD panelde 'Merhaba' yazar. Şekil 1'de önerilen yöntemin tasarımı görülmektedir.

Projede Türk işaret dili kullanılmıştır. Örnek olarak seçilen işaret dili hareketlerinin her birinin yapılması sırasında 5 flex sensör, 3 ivmeölçer ve 3 jiroskop değerlerinin verileri seri port ekranı kullanılarak elde edilmiş ve kaydedilmiştir. Daha sonra mikro denetleyici aracılığıyla bu hareketler için toplamda 11 veriye göre program yazılmıştır. Projenin çalışması sisteminde, bir hareket için elde edilen veriler oluştuğunda o hareketin karşılığı

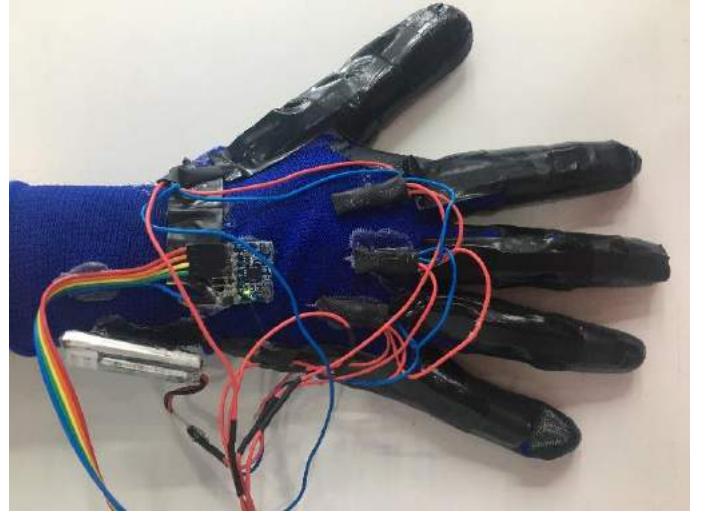
olan kelime LCD ekranda yazdırılmaktadır. İşaret dili çevirici eldiveni eline takan konuşma engelli bir birey, iletişim kurmak istediği bireye anlatmak istediği bir hareketi yaptığında o işaret dili hareketinin karşılığı LCD panelde yazdırılmaktadır.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Önerilen yöntemin prototip geliştirme aşamasında kullanılan sensörlerin ve malzemelerin listesi tablo 1’de açıklanmıştır. İşaret dili çeviri eldiven tasarımında beş adet flex sensör parmakların hareket şekillerini belirlemek için kullanılmıştır. MPU 6050 Sensör içerisinde ivme ve jiroskop sensörleri barındırmaktadır. İvmeölçer ile hareketin ivmesi takip edilmektedir. Jiroskop ise elin konumsal eğim bilgisinin alınmasını sağlamaktadır. Elde edilen veriler arduino mikro denetleyici üzerinden işlenmektedir. Ayrıca sonuçların görüntülenebilmesi için LCD ekran kullanılmaktadır.

Tablo 1. Kullanılan Malzeme Listesi

Malzeme Adı	Âdeti
Arduino Mega	1
Flex Sensörler	5
MPU6050 Sensör	1
20x4 LCD Ekran	1
Jumper Kablolar	İhtiyaç kadar
Eldiven	1
3D baskı kutu	1
Potansiyometre	1
Powerbank	2



Şekil 3 Eldivenin bağlantıları

Önerilen yöntemin prototipinin oluşturulması aşamasında, ilk olarak eldivenin parmaklarının üzerine flex sensörler tutturulmuştur. Daha sonra devre şemasına göre Şekil 3’de görüldüğü gibi flex sensörler ile MPU 6050 bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yine devre şemasına göre eldivenin Arduino Mega bağlantıları yapılmıştır. Son olarak LCD ekran ile Arduino Mega bağlantıları ve güç bağlantıları yapılmıştır. Şekil 3’de eldiven bağlantıları ayrıntıları ile görülmektedir.

Projenin örnek olarak seçilen işaret dili hareketlerinin verilerinin tespiti için her bir işaret dili hareketi 5 flex sensör değeri, 3 ivme-ölçer değeri ve 3 jiroskop değeri, mikro denetleyiciye seri port ekranı açılarak, işaret dili hareketi gerçekleştirildiği süre boyunca kaydedilmiştir. Bu işlem örnek olarak seçilen her işaret dili hareketi için yapılarak değerler ayrı ayrı kaydedilmiştir. Bu kaydedilen 11 veri aşağıdaki Şekil 4’de görülmektedir.

```

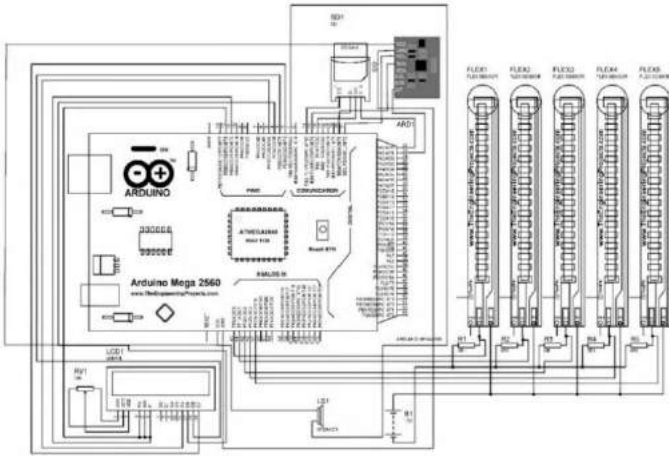
ivmeX = -1812 | ivmeY = 4532 | ivmeZ = 14568 | GyroX = 8254 | GyroY = 9955 | GyroZ = -2266
| Accl_value = 240
analog input1: 402analog input2: 250analog input3: 64analog input4: -114analog input5: -670m = 1 n = 4 l = 3 ig = 4boq
ivmeX = -20020 | ivmeY = 2436 | ivmeZ = 23560 | GyroX = 3360 | GyroY = -20276 | GyroZ = 1276
| Accl_value = 357
analog input1: -56analog input2: -91analog input3: -229analog input4: -489analog input5: -752m = 0 n = 5 l = 1 ig = 4boq
ivmeX = 12020 | ivmeY = 472 | ivmeZ = 10576 | GyroX = -796 | GyroY = 1143 | GyroZ = 2167
| Accl_value = 165
analog input1: -56analog input2: -52analog input3: -47analog input4: -292analog input5: -546m = 2 n = 4 l = 2 ig = 5boq
ivmeX = 14204 | ivmeY = -124 | ivmeZ = 10282 | GyroX = -114 | GyroY = 290 | GyroZ = 31
| Accl_value = 155
analog input1: -21analog input2: -26analog input3: -22analog input4: -17analog input5: -390m = 5 n = 7 l = 6 ig = 6boq
ivmeX = 14500 | ivmeY = -116 | ivmeZ = 9996 | GyroX = -282 | GyroY = 292 | GyroZ = -124
| Accl_value = 149
analog input1: -22analog input2: -10analog input3: -52analog input4: -127analog input5: -355m = 4 n = 5 l = 4 ig = 6boq
ivmeX = 14096 | ivmeY = -20 | ivmeZ = 10556 | GyroX = -8 | GyroY = 415 | GyroZ = -37
| Accl_value = 155
analog input1: -20analog input2: -47analog input3: -89analog input4: -106analog input5: -359m = 4 n = 5 l = 3 ig = 5boq
ivmeX = 14020 | ivmeY = -84 | ivmeZ = 10020 | GyroX = -250 | GyroY = 140 | GyroZ = -39
| Accl_value = 157
analog input1: -40analog input2: -54analog input3: -89analog input4: -131analog input5: -351m = 4 n = 5 l = 2 ig = 6boq
ivmeX = 14116 | ivmeY = 112 | ivmeZ = 10260 | GyroX = -877 | GyroY = 244 | GyroZ = -304
| Accl_value = 154
analog input1: 100analog input2: 99analog input3: 21analog input4: -70analog input5: -216m = 4 n = 4 l = 4 ig = 4boq
ivmeX = 14240 | ivmeY = -140 | ivmeZ = 10500 | GyroX = -19 | GyroY = -141 | GyroZ = -127
| Accl_value = 157
analog input1: 35analog input2: -2analog input3: -59analog input4: -139analog input5: -257m = 5 n = 5 l = 3 ig = 5boq
ivmeX = 14226 | ivmeY = -180 | ivmeZ = 10060 | GyroX = 23 | GyroY = 150 | GyroZ = 67
| Accl_value = 150
    
```

Şekil 4 Kayıt edilen verilerin seri port ekranındaki görünümü

Projenin mikro denetleyici üzerinde kodlaması yapılırken, işaret dili hareketleri için elde edilen verilerin tam o değerde her zaman olamayacağı düşünülerek kodlamada şart yapısında sabit değil de okunan değerler arasında olması gerektiği değerlendirilmiş ve buna göre programın algoritması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5 ve 6’da geliştirilen programın bazı kısımları görülmektedir.

2.2. Sistem Tasarımı

Önerilen yöntem prototip olarak geliştirilmeden önce bilgisayarlı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Proteus devre şeması çizim programı kullanılarak modelimizin şeması çizilmiştir. Çizim işleminden sonra ilk ön testleri bu çizim üzerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de işaret dili çeviricinin devre şeması görünmektedir.



Şekil 2 İşaret dili çevirici devre şeması

```
sensor1= analogRead(A0);  
Serial.print("analog input1: ");  
Serial.print(sensor1,DEC);  
  
sensor2= analogRead(A1);  
Serial.print("analog input2: ");  
Serial.print(sensor2,DEC);  
  
sensor3= analogRead(A2);  
Serial.print("analog input3: ");  
Serial.print(sensor3,DEC);  
  
sensor4= analogRead(A3);  
Serial.print("analog input4: ");  
Serial.print(sensor4,DEC);  
  
sensor5= analogRead(A4);  
Serial.print("analog input5: ");  
Serial.print(sensor5,DEC);
```

Şekil 5 Sensörlerden veri okuma kodları

```
if (m>7) {  
  // n=0; i=0; ig=0;  
  lcd.begin(20, 5); // kullanacağımız lcd'nin 20x4 boyutlarında olduğunu belirtiyoruz.  
  lcd.print("merhaba");  
  
  delay(1000);  
}  
  
else if (n>7) {  
  m=0; i=0; ig=0; is=0; y=0; b=0; g=0;  
  lcd.begin(20, 4); // kullanacağımız lcd'nin 20x4 boyutlarında olduğunu belirtiyoruz.  
  lcd.print("NASILSIN");  
  
  delay(1000);  
}  
  
else if (i>7) {  
  m=0; n=0; ig=0; is=0; y=0; b=0; g=0;  
  lcd.begin(20, 4); // kullanacağımız lcd'nin 20x4 boyutlarında olduğunu belirtiyoruz.  
  lcd.print("iyiyim");  
  
  delay(1000);  
}
```

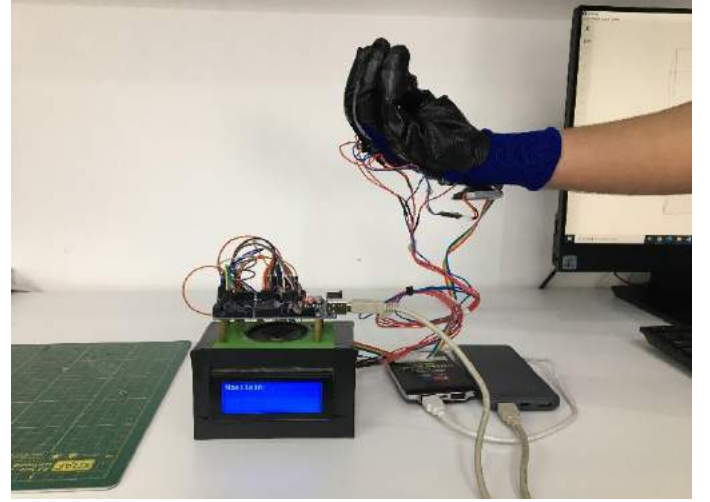
Şekil 6 İşaret dilindeki kelimelerin LCD ekrana yazdırılması

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Bulgular

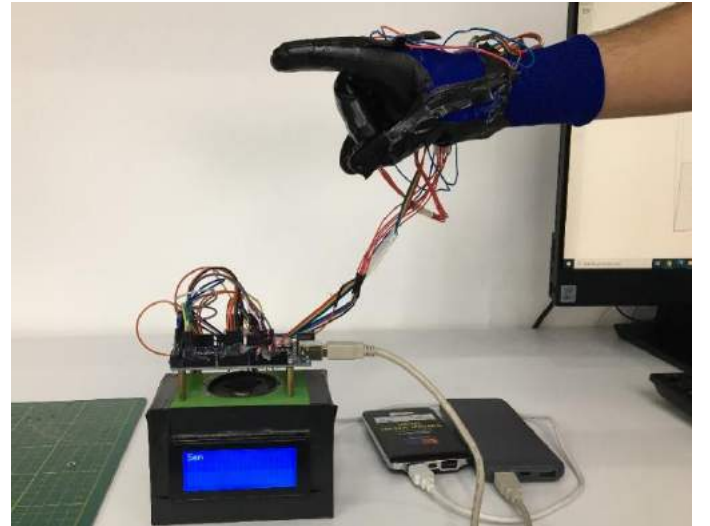
Önerilen yöntem tamamlandıktan sonra test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Test aşaması sırasında örnek olarak seçilen işaret dili hareketlerinden istikrarlı çalışmayan hareketlerin verileri seri port kullanılarak yeniden tespit edilmiş kodlar buna göre güncellenmiştir. Sonuç olarak örnek olarak seçilen işaret dili hareketleri, tasarlanan işaret dili çevirici sistemi sayesinde başarı ile sınıflandırılmış ve LCD ekrana yazdırılmıştır. Bu sayede konuşma engelli bir birey bu eldiveni takarak etrafındaki diğer bireylerle rahatlıkla iletişim kurabilmektedir.

Önerilen yöntem ile günlük hayatta sıklıkla kullanılan on farklı kelime başarı ile sınıflandırılmıştır. Aynı yöntemi kullanarak diğer kelimelerinde başarı ile sınıflandırılacağı kanıtlanmıştır. Şekil 7,8,9' da bazı kelimelerin sınıflandırma sonuçları gösterilmiştir.

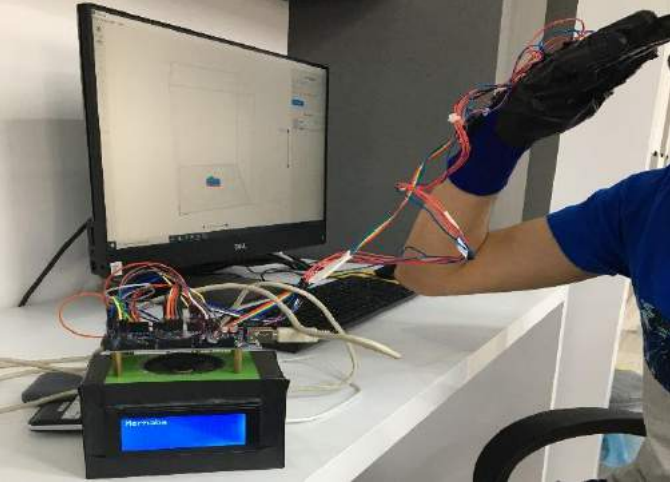


Şekil 7 “Nasılsın” kelimesinin işaret dilindeki karşılığı

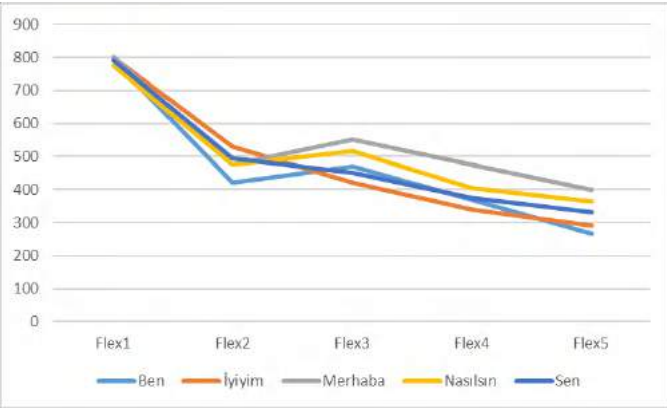
Sınıflandırılan kelimelerden “Ben, İyiyim, Merhaba, Nasılsın ve Sen” sözcüklerinin işaret hareketlerinin, işaret dili çevirici eldiven ile yapılması sonucu ile elde edilen sensör verilerinin grafiği şekil 10,11 ve 12’de görülmektedir. Şekil 10 flex sensörlerden elde edilen sonuçları göstermektedir. Oluşan şekil flex sensörlerin kelimeler için benzer değerler ürettiğini göstermektedir. İvme sensörünün verileri şekil 11’de görülmektedir. Bu veriler ivme sensörünün kelimeler için ayırt edici sonuçlar üretebildiğini göstermektedir. Şekil 12’de jiroskop sensörü verileri, bazı kelimeler için benzer sonuçlar üretirken bazı kelimeler için çok farklı değerler üretebildiği açıkça görülmektedir.



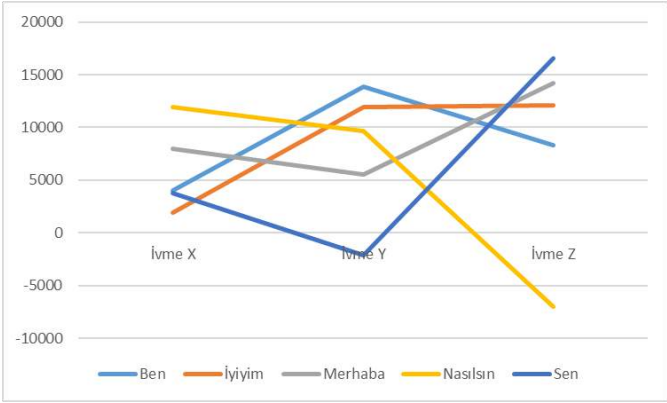
Şekil 8 “Sen” kelimesinin işaret dilindeki karşılığı



Şekil 9 “Merhaba” kelimesinin işaret dilindeki karşılığı



Şekil 10 Flex sensörlerin ortalama verileri



Şekil 11 İvme sensörlerin ortalama verileri



Şekil 12 Jiroskop sensörlerin ortalama verileri

3.2. Tartışma

Elde edilen verilerin sağlıklı değerlendirilmesi açısından sınıflandırma aşamasında kullanılan sensör verileri bir önceki bölümde açıkça verilmiştir. Bu verilerden anlaşılacağı üzere tek bir sensör verisi sınıflandırma için tek başına yeterli değildir. Sensörler içerisinde en fazla ayırt edici özellik içeren veriler ivme sensöründen elde edilmiştir. Özellikle flex sensörler parmak hareketlerini okuduklarından birçok kelime için bazıları sürekli benzer aralıklarda veriler üretmektedir. Bu nedenle tek başına en az ayırt edici özellikli veriyi sağlamaktadır. Diğer taraftan jiroskop sensörü bazı kelimelerde çok yakın ortalama değerler üretse de bazı kelimelerin verilerinde bağımsız sonuçlar üretmektedir. Özellikle aykırı ve nadir kelimelerin sınıflandırılmasında önemli bir fayda sağlayabilir.

Literatürde bulunan çalışmalarda maliyetli Kinect sensörler ile görüntü işleme kullanılarak işaret dili çevirici çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmaların maliyetleri yüksektir. Ayrıca bazı çalışmalarda ise ücretli grafiksel programlama dilleri kullanılarak görüntülerden işaret dilinin tanınması gerçekleştirildiği görülmektedir (Phing vd., 2019). Farklı bir çalışmada ise Hint işaret dili hareketlerinin görüntülerinin çekilip matlab programında ayrıştırılması yöntemi ile işaret dili hareketleri sınıflandırılmıştır (Loke vd., 2017). Bu çalışmanın ise eş zamanlı çalışmaması dezavantajdır.

Literatürde Türk işaret dili ile kelime sınıflandırma yapılan işaret dili çevirici bir sistem tespit edilememiştir. İşaret dili çevirici projesi Türk işaret dilini kullanması açısından özgündür. İşaret dili çevirici projesinde diğer çalışmalardan farklı olarak flex sensör ve MPU6050 gibi maliyeti uygun devre elamanları ile işaret dili hareketleri sınıflandırılmıştır. İşaret dili çevirici projesinin mikro denetleyici kodları özgün olarak yazılmıştır.

4. Sonuç

Elde edilen veriler sistemin geliştirilebilir olması açısından umut vericidir. İşaret dilinde harflerin ve rakamların yerine doğrudan kelimelerin tespit edilmesi iletişimin sağlanabilmesi açısından daha doğru bir yaklaşımdır. Ayrıca kelimelerin sınıflandırılmasında tek bir sensörden elde edilen verilerin ayırt edici olmadığı açıktır. Bu nedenle farklı sensörlerin tüm kelimelerin sınıflandırılmasında birlikte kullanımı zorunlu görünmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar işaret dilinin makineler tarafından anlaşılabilmesi açısından umut vericidir.

Prototip olarak tasarlanan ve kodlanan işaret dili çevirici sisteminin tam manada uygulamaya geçirilebilmesi için tüm Türk işaret dili sözcüğündeki kelimelerin verilerinin tespit edilip yazılıma uyarlanması gerekmektedir. Daha kararlı ve uygulanabilir bir sistem olabilmesi açısından eldiven ile yapılan bağlantıların kablosuz olmasının daha kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Kablosuz bir eldiven tasarımı gerçekleştirilebilirse ticari olarak kullanımı daha uygun olur. Cümlelerin oluşması için ise, yazılan bir bilgisayar uygulaması ile haberleştirilmesi sağlanabilir. Bilgisayar programında başlat komutu verildiğinde her yapılan işarete göre çevrilen kelime bir dosyaya kaydedilip sonraki kelime ise dosyanın arkasına eklenerek cümleler oluşturulabilir. Yada cümlelerin çevrilebilmesi için “Raspberry Pi” gibi dosya kaydetme ortamı olan mikrobilgisayarlar kullanılabilir. Bu yöntemle işaret dilinde yapılan cümlelerin yazıya çevrilmesi sağlanmış olur. Önerilen yöntemin uygulamasında flex sensörlerin hassas çalışmamasından kaynaklı riskler ortaya çıkabilir. Bu

problemlere önlem almak için “Myo Armband - EMG sensör” gibi daha hassas çalışabilen sensörler tercih edilebilir.

Kaynakça

- Abhishek, Kalpattu S., Lee Chun Fai Qubeley, and Derek Ho. "Glove-based hand gesture recognition sign language translator using capacitive touch sensor." 2016 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC). IEEE, 2016.
- Burcu, E. (2015). Türkiye'de Yeni Bir Alan:'Engellilik Sosyolojisi've Gelişimi. *Journal of Sociological Studies/Sosyoloji Konferansları*, (52).
- El-Bendary, Nashwa, et al. "Arslat: Arabic sign language alphabets translator." 2010 international conference on computer information systems and industrial management applications (CISIM). IEEE, 2010.
- Ku, Yun-Jung, Min-Jen Chen, and Chung-Ta King. "A Virtual Sign Language Translator on Smartphones." 2019 Seventh International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW). IEEE, 2019.
- Loke, Pranali, et al. "Indian sign language converter system using an android app." 2017 International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). Vol. 2. IEEE, 2017.
- Öztabak, M. Ü. (2017). Engelli Bireylerin Yaşamdan Beklentilerinin İncelenmesi. *FSM İlmî Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, (9), 355–355.
- Phing, T. C., Ambar, R., Baharum, A., Poad, H. M., & Abd Wahab, M. H. (2019). Wireless Wearable for Sign Language Translator Device using Intel UP Squared (UP 2) Board. In *Computational Science and Technology* (pp. 533-543). Springer, Singapore.
- Phing, Tan Ching, et al. "Wireless Wearable for Sign Language Translator Device with Android-Based App." *Intelligent and Interactive Computing*. Springer, Singapore, 2019. 411-422.
- Sarkar, B., Datta, K., Datta, C. D., Sarkar, D., Dutta, S. J., Roy, I. D., ... & Paul, A. (2009, December). A translator for bangla text to sign language. In *2009 Annual IEEE India Conference* (pp. 1-4). IEEE.
- Starnier, Thad, Joshua Weaver, and Alex Pentland. "Real-time american sign language recognition using desk and wearable computer based video." *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence* 20.12 (1998): 1371-1375.
- Warrier, K. S., Sahu, J. K., Halder, H., Koradiya, R., & Karthik Raj, V. (2016). Software based sign language converter. *International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2016*, 1777–1780. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754472>
- Yalçın, M., Ilgaz, S., Özkul, G., & Yildiz, Ş. K. (2018, May). Turkish sign language alphabet translator. In *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.



Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 2, X Işını Fotoelektron Spektroskopisi Analizi

Ömer Laçın^{1*} ve Bünyamin Dönmez¹

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-5276-3056), olacin@atauni.edu.tr

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-7680-0755), bdonmez@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012382)

ATIF/REFERENCE: Laçın, O. & Dönmez, B. (2021). Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 1, X Işını Fotoelektron Spektroskopisi Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 978-984.

Öz

Bu çalışmada, X Işını Fotoelektron Spektroskopisi analizi ile Hummers yönteminde bir reaktif olarak kullanılan sodyum nitrat konsantrasyonunun değiştirilmesi ile elde edilen sentezlerin grafen okside dönüşüp dönüşmediği ve değişen yapısal özellikleri incelenmiştir. Kimyasal oksidasyondan sonra, 284,8 eV'de asimetric olarak merkezlenmiş C1s genel spektrumuna uygulanan Gaussian veya Lorentz dağılım analizleriyle, yapıda farklı sayıda oksijen içeren fonksiyonel grupları (epoksi ve fenolik karbon (C-O), karbonil (C=O) ve karboksil (O-C=O)) temsil eden yeni sinyaller belirlenmiştir. Bu grupların, grafitteki sp² hibridize karbon atomu (C-C/C=C) pikinde oluşturduğu kusur ve bozukluk nedeniyle pik yoğunluğunda önemli bir düşüşe yol açtığı gözlenmiştir. Grafit için C/O atom oranı 42,48 iken, grafen oksit numunelerinde bu değer 1,74'e düşmesi ve grafit bazal düzlemine bağlanmış farklı oksijen içerikli fonksiyonel grupların ortaya çıkması, kimyasal oksidasyonun başarılı denecek şekilde gerçekleştiğini göstermiştir. Sentezlenen numunelerde N1s pikine hiç rastlanmaması, ürünlerin saf olduğunu ortaya koymaktadır. Sentez analizleri sonucunda, yapıdaki grupların bağ enerji değerlerinin literatür ile uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Tüm bu sonuçlar ışığında farklı özelliklere sahip grafen oksit örneklerinin başarılı bir şekilde sentezlendikleri ifade edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Grafit, Grafen oksit, Hummers Yöntemi, Nanomalzeme, X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi

For Graphene Oxide Synthesis Obtained by Modified Hummers Method: Part 2, X-Ray Photoelectron Spectroscopy Analysis

Abstract

In this study, whether the syntheses obtained by changing the sodium nitrate concentration used as a reagent in the Hummers method by X-Ray Photoelectron Spectroscopy analysis convert to graphene oxide and its changing structural properties were investigated. After chemical oxidation, new signals representing different numbers of oxygen-containing functional groups (epoxy and phenolic carbon (C-O), carbonyl (C=O) and carboxyl (O-C=O)) were determined by Gaussian or Lorentz distribution analyses applied to the C1s general spectrum asymmetrically centered at 284.8 eV. It has been observed that these groups lead to a significant decrease in the peak density due to the defect and disorder caused by the sp² hybridized carbon atom (C-C/C=C) peak in graphite. While the C/O atomic ratio for graphite was 42.48, a decrease in this value to 1.74 in graphene oxide samples and the appearance of functional groups with different oxygen content connected to the graphite basal plane showed that chemical oxidation had occurred successfully. The fact that no N1s peak was observed in the synthesized samples indicates that the products are pure. As a result of the synthesis analyses, it was observed that the bond energy values of the groups in the structure were in harmony with the literature. In the light of all these results, it can be stated that graphene oxide samples with different properties have been successfully synthesized.

Keywords: Graphite, Graphene oxide, Hummers Method, Nanomaterial, X-Ray Photoelectron Spectroscopy

1. Giriş

Grafit kristali, altıgen düzlemde karbon atomlarının birbirine güçlü kovalent bağları ve düzlemler arasında ise zayıf Van Der Walls bağlarıyla bağlanmış üç boyutlu bir yapıdır. Bu zayıf bağlardan dolayı tabakalar birbirlerinden çok kolay bir şekilde ayrılırlar. Grafitin düşük maliyetli, kolay elde edilebilirliği, grafen oksite, onun türevlerinden oluşan kompozit malzemelere ve grafene kolaylıkla dönüştürülebilmesi nedeniyle son yıllarda çok cazip bir malzeme olmuştur [1-2].

Grafen oksit (GO) yapısındaki oksijen içeren fonksiyonel gruplarının karbon atomlarına oranının kontrol edilebilir, elektronik ve optik özelliklerinin ayarlanabilir ve hidrofilik özelliğinden dolayı suda çok iyi disperse olabildiği için; savunma sanayi, enerji, biyokimya, kaplama gibi bir çok teknolojiye geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Fakat üretim aşamalarında tehlikeli kimyasallar içermesinden dolayı bu olumsuzluğu en aza indirebilmek amacıyla son yıllarda grafitten grafen oksit eldesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır [3-8].

Reaksiyon şartlarıyla GO'nun morfolojik özellikleri değiştiğinden sentezlenen her grafen oksit literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır [9].

GO üretim yöntemlerinin ortak dezavantajları toksik ve tehlikeli kimyasalların kullanılması ve üretim prosesi esnasında bir takım zehirli gazların ortaya çıkmasıdır. Hummers yöntemi [10], GO üretmek için en avantajlı yöntemdir. Çünkü sentez süreci; kolay, reaksiyon süresi kısa, maliyeti daha düşük ve yan ürünleri diğer yöntemlere göre daha az toksiktir. Bu yöntemde grafitin, $KMnO_4$, konsantre H_2SO_4 ve $NaNO_3$ karışımı ile reaksiyona sokulmasıyla oksidasyon gerçekleşir. Permanganat bu ortamda Mn_2O_7 'ye dönüşür ve aromatik yapılar üzerindeki doymamış alifatik çift bağları seçici olarak oksitler [11]. Bu yöntemin dezavantajları ise; NO_2 ve N_2O_4 gibi oluşan toksik gazlar, 95 °C'nin üzerinde $KMnO_4$ 'ün patlama riski ve sulu çözeltide kristal kafese hapsolan Na^+ ve NO_3^- iyonlarının uzaklaştırılma zorluğudur [12].

Bu yüzden, Hummers yöntemi modifiye edilerek bu dezavantajları azaltma yolları araştırılmaktadır. Bu çalışmaların bazılarında, reaksiyon şartları değiştirilmiş, $KMnO_4$ yerine K_2FeO_4 kullanılmış, $NaNO_3$ yerine ise konsantre asit miktarı artırılmış veya H_2SO_4 ile birlikte H_3PO_4 kullanılmıştır [13].

X Işımı Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) cihazı, karbon atomlarının yaptığı hibritleşme türünü ve karbon atomuna bağlı olan atomların bilgileri elde edilmektedir. Bu cihaz çoğunlukla karbon esaslı malzemeler olmakla beraber metal ve alaşımlar, polimerik vb. malzemelerin nitelik ve nicelik tayinlerinde de kullanılmaktadır. Çünkü, her elementin spesifik bağlanma enerjileri olduğundan nicel analiz için kullanılabilir. Ayrıca bağlanma enerjileri, maddenin doğasına bağlı olarak belirli farklılıklar gösterebildiğinden ve bu da kimyasal kayma neden olacağından nitel analiz için de kullanılabilir.

XPS analizi ile değişik $NaNO_3$ konsantrasyon- larında elde edilen sentezlerin grafen oksite dönüşüp dönüşmediğinin ve değişen yapısal özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

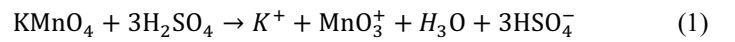
2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Materyaller

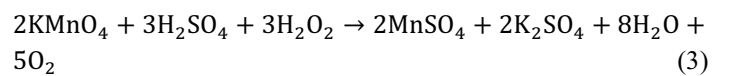
Kimyasal ve Materyaller: Yapılan çalışma için; merck marka 325 meş grafit tozu, merck marka sodyum nitrat, merck marka %98'lik sülfürik asit, merck marka potasyum permanganat, ultra deiyonize su, merck marka %30'luk hidrojen peroksit ve fluka marka %37'lik hidroklorik asit kimyasalları kullanılmıştır. Materyal olarak ise; 250 ml'lik cam reaktör, ultrasonik banyo 150w (çalışkan lab.), çeker ocak, ısıtıcı manyetik karıştırıcı (ıka yellowline msh basic), pH metre (mettler toledo), santifürüj cihazı, etüv, termometre kullanılmıştır.

2.2. Deneysel Sistem

Grafen oksit sentezi için deneysel akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Reaksiyonun gerçekleşeceği 250 mL'lik cam reaktöre, 1 g grafit tozu, 0-1g aralığında değişen $NaNO_3$ ve 23 mL H_2SO_4 ilave edilerek 30 dk karıştırıldıktan sonra literatürdeki diğer modifiye Hummers yöntemlerinden farklı olarak 40 dakika boyunca -15 °C'de dondurucuda bekletme yöntemi ilave edilmiştir. Karıştırma hızı, homojen bir süspansiyonun elde edildiği 500 rpm'de gerçekleştirilmiştir. Önce numune buz banyosunda 0°C'ye getirilmiş ve yaklaşık 1 saat boyunca kademeli olarak 3 g $KMnO_4$ ilave edilerek Eşitlik (1-2) oksidasyon reaksiyonlarıyla [14] koyu yeşil renkli grafit oksit oluşumu gözlenmiştir (bu aşamada sıcaklık 5°C'yi geçmemelidir).



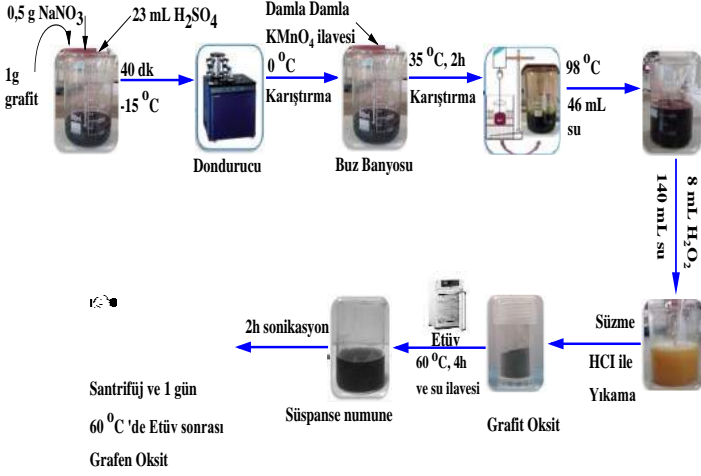
Grafen okside dönüşüm amacıyla, sıcaklık 35 °C'ye ayarlanıp numune 2 saat boyunca karıştırılmıştır (sıcaklık bu aşamada 50 °C'yi geçmemelidir). Süre sonunda açık kahverengiye dönen karışımın sıcaklığı 98 °C'ye yükseltip kontrollü bir biçimde 46 mL ultra saf su ilave edilmiştir. 98 °C'de tutulan nihai karışım bir 15 dk daha karıştırıldıktan sonra rengin koyu kahveye dönüştüğü gözlenmiştir. Daha sonra, 140 mL ultra saf su ve 8 mL H_2O_2 ilavesiyle renk sarıya dönmüş ve $KMnO_4$ fazlası ise Eşitlik (3)'de gösterildiği gibi suda çözünen mangan sülfat tuzuna dönüştürülmüştür.



Son karışım 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra süzümüştür. Katı numune, bünyesindeki metal iyonlarını gidermek için %10'luk HCl ile ve sonrasında ortamdaki reaksiyona girmeyen asit fazlasını gidermek için saf su ile pH 7 olana kadar yıkanmıştır. Karışım 60 °C'deki etüvde 4 saat

kurutulduktan sonra saf su ilave edilerek elde edilen grafen oksit süspansiyonu 2 saat sonikasyona (güç: 150 W ve frekans: 33 KHz) tabi tutulmuş ve 5 dk boyunca 3000 dev.dk⁻¹ hız ile santifürüj edilerek çözeltisinden ayrılmıştır. Son olarak, katı numune 60 °C'deki etüvde 24 saat kurularak GO sentezi gerçekleştirilmiştir.

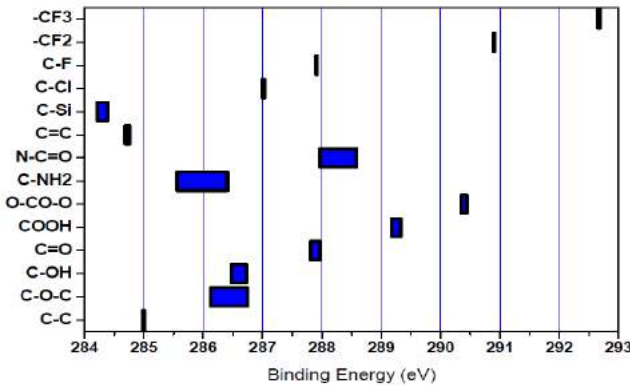
Elde edilen 4 GO numunesine NaNO₃'ün artan konsantrasyonuna göre sırasıyla, GO-Na0; GO-Na0,25; GO-Na0,50 ve GO-Na1 kodları verilmiştir.



Şekil 1. Grafen Oksit Sentezi için Deneysel Akış Şeması

2.3. X Işın Fotoelektron Spektroskopisi Analizi

XPS, çok hassas bir cihaz olup malzemelerin doğası ve içeriği hakkında bilgiler sağlar. GO'nun XPS analizinde, genel spektrum ve C1s spektrumu, en önemli bilgileri veren spektrumlardır. Genel spektrumlarda hangi elementlerin kalitatif ve kantitatif olarak kristal içerisinde yer aldıkları belirlenir. GO'nun kristal yapısında karbon ve oksijenin yanı sıra grafit tabakaları arasında sıkışan sülfürik ve nitrik artıklarının tam olarak uzaklaştırılmaması nedeniyle, XPS'de hem kükürt hem de azota ait karakteristik bantlar da görülebilmektedir [15]. Şekil 2'de bazı bağların XPS ile sinyalin alındığı bağ enerji değerleri verilmiştir



Şekil 2. Bazı Fonksiyonel Grupların XPS'deki Bağ Enerji Sinyalleri [16]

Bu çalışmada Specs-Flex model X-ışını fotoelektron spektrometresi kullanılmıştır. Analizler; 150W'lık bir Al K α (1486.6 eV) X-ışını kaynağı, $\pm 0.1^\circ$ hassasiyetle $\pm 180^\circ$ polar dönme hareketli tabla, 200 kanallı multi-kanal dedektör olan elektron lens analizörü ve yüksek çözünürlüklü tarama için 100 eV'lik bir geçiş enerjisi ile 0-600 eV enerji aralığında yapılmıştır.

XPS cihazı ile mevcut çalışmada elde edilen numunelere ait atom türleri, bağ enerjileri ve oksidasyon düzeyi hakkında bilgiler elde edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şu ana kadar yapılan çalışmalarda GO'nun genel spektrumunda; 284,8 eV'de C1s, 532,5 eV'de O1s, 167,1 eV'de S2p ve 402 eV'de N1s karakteristik bantları ile bazı çalışmalarda 211 eV'de S2s bandı da gözlenmiştir [17-19].

GO'nun C1s spektrumunda ise genellikle üç pik görülmektedir. Bu pikler; 284,5 eV'de grafit yapısındaki oksijen atomlarına bağlanmayan, sp² hibridize karbon atomları (C-C/C=C), 285,5 civarında sp³ hibridize karbon atomları (C-C) ve 286,5 eV civarında ise epoksi ve tersiyer alkollerin karbon atomları (C-O) sinyali vermiştir. Bunun yanı sıra oksijen içeren başka fonksiyonel gruplar da farklı bağ enerji değerleriyle rapor edilmiştir. Mesela karboksilik asidin karbon atomlarının 289,2 eV'de sinyal verdiği rapor edilmiştir. Keton gruplarından gelen sinyalin ise nerede gözükmesi gerektiği hala açıklığa kavuşmamıştır. 286,5-287,5 eV aralığında epoksi ve alkoller içerdiğini iddia eden çalışmalar olduğu gibi 288,5-289,2 eV aralığında karboksil gruplarını içerdiğini iddia eden çalışmalar da mevcuttur. Bazı çalışmalarda ise 287,7-288,1 eV aralığında epoksi ve alkoller karboksil gruplarına köprüler şeklinde bağlandığına yönelik açıklamalar da bulunmaktadır [20-22].

Ayrıca C1s spektrumunun çekirdek seviyesinde farklı deformasyonlardan dolayı farklı enerji kayma değerleri de rapor edilmiştir. Bu yüzden bazı çalışmalarda, 284,5 eV den daha düşük bağ enerjisi değerlerinde de nispi yoğunlukları çok olmasa bile kusurlu sp³ hibridize karbon atomlarına atfedilen sinyallerin (C-C) ortaya çıktığı da bildirilmiştir [23-25].

Kimyasal oksidasyondan sonra grafit bazal düzleminde oluşan fonksiyonel gruplardan; karboksilik (O-C=O) ve karbonil (C=O) grupları esas olarak bazal düzlemin kenarlarına bağlandığı, fenolik hidroksil (-OH) ve epoksi (C-O-C) gruplarının ise iç kısımlarda yer aldığı yaygın olarak kabul edilmektedir [26].

Bu çalışmada yapılan C1s spektrumuna ait uygun eğri, doğrusal olmayan algoritma kullanılarak Gaussian ve Lorentzian dağılımlarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu dağılımlarda en iyi korelasyon katsayısı ve eğri, Lorentzian dağılımıyla elde edilmiştir.

3.1. Grafitin XPS Analizi

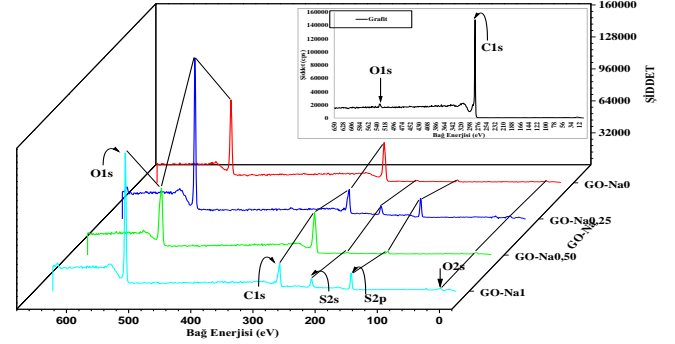
Grafitin genel ve C1s XPS spektumları sırasıyla Şekil 3-4'de grafik edilmiş ve grafiklerden elde edilen veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Genel spektrum; 283,7 eV'de (%97,7 atomik C) asimetrik olarak merkezlenen bir C sinyali (C1s G) ve 532,3 eV'de (%2,3 atomik O) O (O1s G) sinyali vermiştir. Bu verilerden C/O oranı 42,48 olarak hesaplanmıştır.

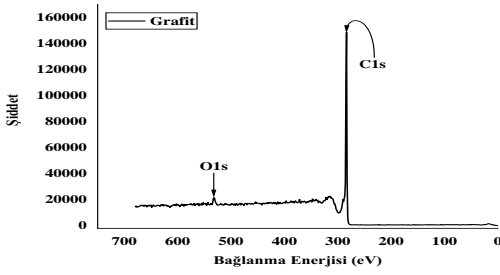
C1s spektrumunda ise, en yüksek pik yoğunluğu 284,1 eV'de %80,5 ile sp² hibridize karbon atomlu (C-C/C=C) olmuştur. Diğer pik yoğunlukları, 285,7 eV'de sp³ hibridize karbon atomlu (%3,4 alanlı, C-C), yaklaşık 286,6 eV'de fenolik hidroksil ve epoksi grubu (%4,5 alanlı, C-O), 290,8 eV'de ise π-π* etkileşimli (%11,6 alanlı) bağları göstermektedir. Sonuç olarak yoğunluğu çok fazla olan ilk pik grafitin karakteristik piki olup diğerleri muhtemelen grafitteki safsızlıkları göstermektedir.

3.2. GO-Na Sentezlerinde XPS Analizi

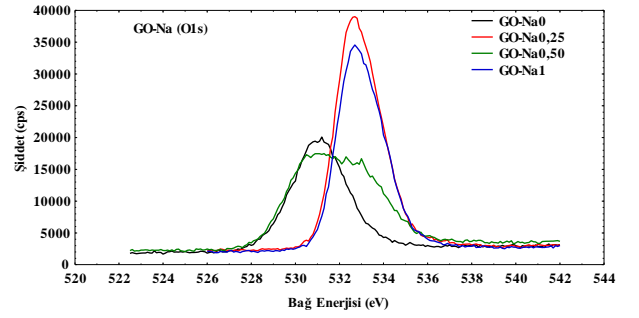
GO-Na sentezlerinin genel, O1s, S2p ve C1s, XPS spektumları sırasıyla Şekil 5-11'de grafik edilmiş ve grafiklerden elde edilen veriler Tablo 2'de sunulmuştur.



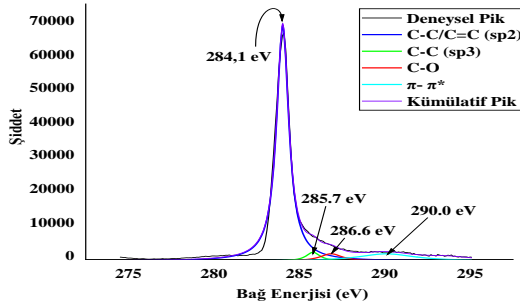
Şekil 5. GO-Na'nın XPS Genel Spektumu



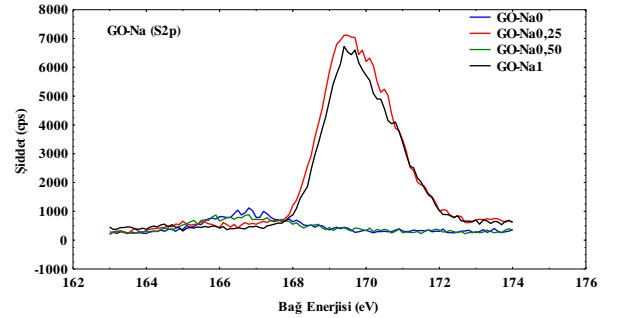
Şekil 3. Grafitin XPS Genel Spektumu



Şekil 6. GO-Na'nın XPS O1s Spektumu



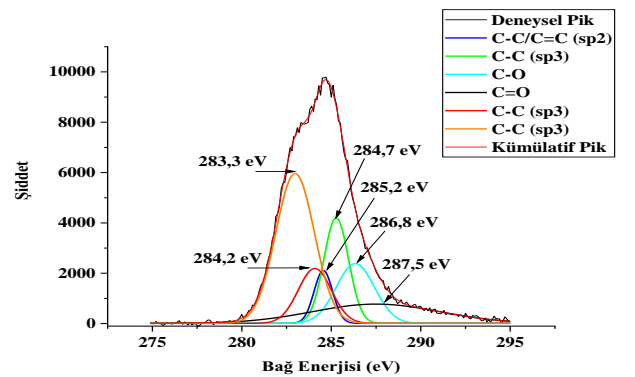
Şekil 4. Grafitin XPS C1s Spektumu



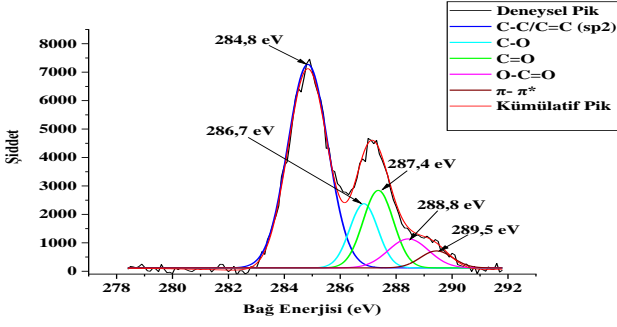
Şekil 7. GO-Na'nın XPS S2p Spektumu

Tablo 1. Grafitin XPS Sonuçları (Lorentzian Dağılımı: R²:0,995)

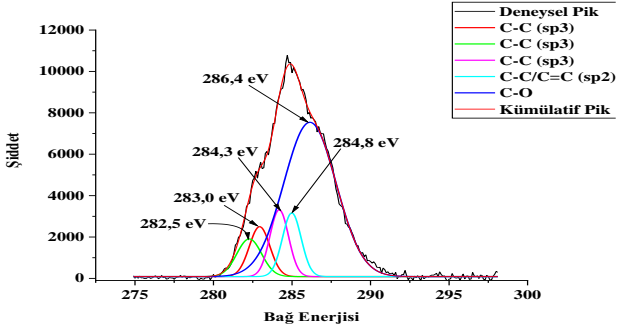
Örnek	pik	Bağ Enerjisi (eV)	Pik Alanı (%)	Atomik (%)	FWHM	C1s Piklerinde Faz/Grup	C/O
Grafit	C1s G	283,7	93,4	97,7	2,215	Genel Spektrum	42,48
	O1s G	532,3	6,6	2,3	4,533		
	C1s-1	284,1	80,5		0,861	C-C/C=C-sp ²	
	C1s-2	285,7	3,4		0,982	C-C sp ³	
	C1s-3	286,6	4,5		1,542	C-O	
	C1s-4	290,0	11,6		4,030	π-π*	



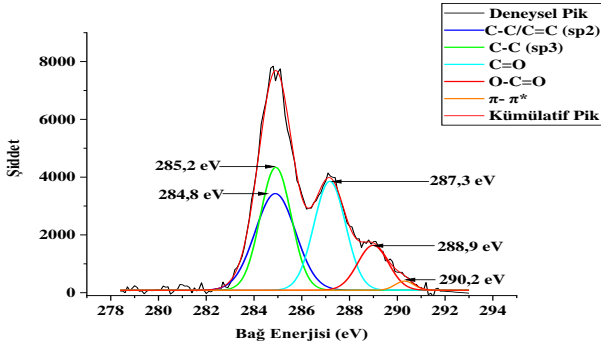
Şekil 8. GO-Na0'nın XPS C1s Spektumu



Şekil 9. GO-Na0,25'in XPS C1s Spektrumu



Şekil 10. GO-Na0,50'nin XPS C1s Spektrumu



Şekil 11. GO-Na1'in XPS C1s Spektrumu

Tablo 2. GO-Na'nın XPS Sonuçları (Lorentzian Dağılımı: R²:0,991)

Örnek	pik	Bağ Enerjisi (eV)	Pik Alanı (%)	Atomik (%)	FWHM	C1s Piklerinde Faz/Grup	C/O
GO-Na0 Genel	C1s G	284,8	36,8	62,6	4,358	Genel Spektrum	1,74
	O1s G	531,2	61,7	35,9	3,396		
	S2p G	167,1	1,5	1,5	3,273		
GO-Na0 C1s	C1s-1	283,3	36,4		2,54	C-C sp ³	1,74
	C1s-2	284,2	11,4		2,18	C-C sp ³	
	C1s-3	284,7	6,2		1,22	C-C/C=C-sp ²	
	C1s-4	285,2	16,4		1,63	C-C sp ³	
	C1s-5	286,8	14,3		2,51	C-O (epoksi ve fenolik karbon bileşeni)	
	C1s-6	287,5	15,3		8,36	C=O (karbonil)	
GO-Na0,25 Genel	C1s G	284,8	17,0	36,0	4,284	Genel Spektrum	0,68
	O1s G	531,2	72,0	53,0	2,797		
	S2p G	167,1	11,0	11,0	2,917		
GO-Na0,25 C1s	C1s-1	284,8	58,0		1,69	sp ² hibridize C-C/C=C	0,68
	C1s-2	286,7	12,9		1,19	C-O (epoksi ve fenolik karbon bileşeni)	
	C1s-3	287,4	16,8		1,28	C=O (karbonil)	
	C1s-4	288,8	8,3		1,69	O-C=O (karboksil)	
	C1s-5	289,5	4,0		1,36	pi-pi*	
GO-Na0,50 Genel	C1s G	284,8	36,7	62,5	5,034	Genel Spektrum	1,74
	O1s G	531,2	61,6	35,8	5,684		
	S2p G	167,1	1,7	1,7	3,449		
GO-Na0,50 C1s	C1s-1	282,5	7,5		1,86	C-C sp ³	1,74
	C1s-2	283,0	8,2		1,54	C-C sp ³	
	C1s-3	284,3	10,0		1,39	C-C sp ³	
	C1s-4	284,8	9,6		1,41	sp ² hibridize C-C/C=C	
	C1s-5	286,4	64,7		3,92	C-O (epoksi ve fenolik karbon bileşeni)	
GO-Na1 Genel	C1s G	284,8	18,0	37,4	3,883	Genel Spektrum	0,72
	O1s G	533,4	71,0	51,6	2,899		
	S2p G	170,4	11,0	11,0	2,882		
GO-Na1 C1s	C1s-1	284,8	29,8		1,52	sp ² hibridize C-C/C=C	0,72
	C1s-2	285,2	30,7		1,99	sp ³ hibridize C-C	
	C1s-3	287,3	27,2		1,56	C=O (karbonil)	
	C1s-4	288,9	10,9		1,49	O-C=O (karboksil)	
	C1s-5	290,2	1,4		0,92	pi-pi*	

4. Sonuç

Şekil 3-11 ve Tablo 1-2'den faydalanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1) Kimyasal oksidasyondan sonra oksijen içeren fonksiyonel gruplarının, grafitteki sp² hibridize karbon atomu (C-C/C=C) pikinde oluşturduğu kusur ve bozukluk nedeniyle, pik yoğunluğunda önemli bir azalma gözlenmiştir. Grafit yapının değişen bu kısımlarına, XPS analizleri sonucu, epoksi ve fenolik karbon (C-O), karbonil (C=O) ve karboksil (O-C=O) fonksiyonel gruplarının yerleştiği belirlenmiştir. Ayrıca bu durum ara tabaka mesafesinin artmasına da neden olmuştur.

2) Kimyasal oksidasyondan sonra GO-Na0, GO-Na0,25, GO-Na0,50 ve GO-Na1 numunelerinin genel C1s (C1s G) spektrumları, 284,8 eV'de asimetric olarak merkezlenmiş ve bu spektruma yapılan Gaussian veya Lorentz dağılım analizleriyle farklı sayıda grupları temsil eden sinyallerin olduğu belirlenmiştir. GO-Na0'da; 286,8 eV'de epoksi ve fenolik (%14,3 pik alanı) ve 287,5 eV'de karbonil (%15,3 pik alanı)

fonksiyonel grupları sinyal vermiştir. GO-Na0,25'de; 286,7 eV'de epoksi ve fenolik (%12,9 pik alanlı), 287,4 eV'de karbonil (%16,8 pik alanlı), 288,8 eV'de karboksil (%8,3 pik alanlı) fonksiyonel grupları sinyal vermiştir. GO-Na0,50'de; 286,4 eV'de epoksi ve fenolik (%64,7 pik alanlı) fonksiyonel grubu sinyal vermiştir. GO-Na1'de; 287,3 eV'de karbonil (%27,2 pik alanlı) ve 288,9 eV'de karboksil (%10,9 pik alanlı) fonksiyonel grupları sinyal vermiştir. Epoksi ve fenolik karbonun GO-Na1 yapısında bulunmamasından dolayı, bu sentezin başarılı olmadığı söylenebilir. Her sentezde farklı fonksiyonel grupların bulunmasının farklı NaNO₃ konsantrasyonundan kaynaklandığı söylenebilir [27]. Bu sonuç, XRD analiziyle elde edilen sonucu desteklemektedir.

3) GO-Na0 ve GO-Na0,50 genel spektrumlarında, S2p pik yoğunluklarının (yaklaşık %1,5) diğer numunelerdeki S2p pik yoğunluklarından (%11) düşük olmasından dolayı bu iki sentezin/ürünün daha saf elde edildiği söylenebilir. Çünkü oksitleyici ajan olarak kullanılan KMnO₄ ve H₂SO₄, di mangan heptaoksit (Mn₂O₇) oluşturarak grafitteki doymamış grupları epoksit ağırlıklı fonksiyonel gruplara dönüştürmüştür. Bunun yanı sıra, oksidasyondan sonra kükürt miktarının azlığı reaksiyona giren sülfürik asidin veya kovalent bir şekilde bağlanan sülfatların başarılı olduğunu gösterir [28].

4) Kimyasal oksidasyondan sonra GO-Na0, GO-Na0,25, ve GO-Na0,50 numunelerinde; O1s genel spektrumlarının 531,2 eV ve S2p genel spektrumlarının 167,1 eV olup literatürle uyum içerisindedir [20-21]. GO-Na1'de bu değerlerin sırasıyla 533,4 ve 170,4 eV olması bu sentezin başarılı gerçekleşmediği sonucunu desteklemektedir.

5) C1s, O1s ve S2p spektrumlarından başka pik yoğunluğu az da olsa yaklaşık 231 eV'de S2s ve yaklaşık 25 eV'de O2s zayıf pikleri de gözlenmiştir. Yaklaşık 405 eV'de görülen N1s pikine hiç rastlanmaması ise başarılı sentezlenen ürünlerin saf olduğunu göstermektedir [20-21].

6) Kimyasal oksidasyondan sonra C/O atom oranları; Grafit için 42,48 iken GO-Na0 ve GO-Na0,50 numunelerinde 1,74 ve GO-Na0,25 numunesinde ise 0,68 gibi önemli bir azalma gözlenmiştir. Bu sonuçlar, grafit bazal düzlemine bağlanan farklı oksijen içeren fonksiyonel gruplardan dolayı kimyasal oksidasyonun başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Literatürde başarılı GO sentezlerinde C/O oranının 3'den küçük olduğu rapor edilmiştir [20-21].

Elde edilen sonuçlar ışığında, mevcut şartlarda elde edilen sentezlerin, farklı özelliklere sahip grafen oksit örnekleri oldukları ve literatür ile uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi BAPSİS Birimi tarafından Temel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Moosa, A., and Abed, M. (2021). Graphene preparation and graphite exfoliation. *Turkish journal of Chemistry*, 45(3),493-519.
- [2] Dresselhaus, G., Dresselhaus, M. S., & Saito, R. (1998). *Physical properties of carbon nanotubes*. World scientific.
- [3] Chen, J., Yao, B., Li, C., & Shi, G. (2013). An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, 64, 225-229.
- [4] Huang, X., Qi, X., Boey, F., & Zhang, H. (2012). Graphene-based composites. *Chemical Society Reviews*, 41(2), 666-686.
- [5] Paulchamy, B., Arthi, G., & Lignesh, B. D. (2015). A simple approach to stepwise synthesis of graphene oxide nanomaterial. *J Nanomed Nanotechnol*, 6(1), 1.
- [6] Tiyek, İ., Dönmez, U., Yıldırım, B., Alma, M. H., Ersoy, M. S., & Karataş, Ş. (2016). Kimyasal yöntem ile indirgenmiş grafen oksit sentezi ve karakterizasyonu. *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 349-357.
- [7] Sun, L., & Fugetsu, B. (2013). Mass production of graphene oxide from expanded graphite. *Materials Letters*, 109, 207-210.
- [8] Brisebois, P. P., & Sijaj, M. (2020). Harvesting graphene oxide—years 1859 to 2019: a review of its structure, synthesis, properties and exfoliation. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(5), 1517-1547.
- [9] Shamaila, S., Sajjad, A. K. L., & Iqbal, A. (2016). Modifications in development of graphene oxide synthetic routes. *Chemical Engineering Journal*, 294, 458-477.
- [10] Hummers Jr, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of graphitic oxide. *Journal of the american chemical society*, 80(6), 1339-1339.
- [11] Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*, 39(1), 228-240.
- [12] Lavin-Lopez, M. D. P., Romero, A., Garrido, J., Sanchez-Silva, L., & Valverde, J. L. (2016). Influence of different improved hummers method modifications on the characteristics of graphite oxide in order to make a more easily scalable method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(50), 12836-12847.
- [13] Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., ... & Tour, J. M. (2010). Improved synthesis of graphene oxide. *ACS nano*, 4(8), 4806-4814.
- [14] Peng, L., Xu, Z., Liu, Z., Wei, Y., Sun, H., Li, Z., ... & Gao, C. (2015). An iron-based green approach to 1-h production of single-layer graphene oxide. *Nature communications*, 6(1), 1-9.
- [15] Eigler, S., & Dimiev, A. M. (2016). Characterization techniques. *Graphene Oxide: Fundamentals and Applications*. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- [16] Paynter, R. Royston Paynter INRS-Énergie, Matériaux et Télécommunications 1650 boul. Lionel-Boulet Varennes Québec J3X 1S2.
- [17] Muralikrishna, S., Sureshkumar, K., Varley, T. S., Nagaraju, D. H., & Ramakrishnappa, T. (2014). In situ reduction and functionalization of graphene oxide with L-cysteine for simultaneous electrochemical determination of cadmium (II), lead (II), copper (II), and mercury (II) ions. *Analytical Methods*, 6(21), 8698-8705.

- [18] Shulga, Y. M., Shulga, N. Y., & Parkhomenko, Y. N. (2015). Carbon nanostructures reduced from graphite oxide as electrode materials for supercapacitors. *Modern Electronic Materials*, 1(1), 1-9.
- [19] Al-Gaashani, R., Najjar, A., Zakaria, Y., Mansour, S., & Atieh, M. A. (2019). XPS and structural studies of high quality graphene oxide and reduced graphene oxide prepared by different chemical oxidation methods. *Ceramics International*, 45(11), 14439-14448.
- [20] Johra, F. T., Lee, J. W., & Jung, W. G. (2014). Facile and safe graphene preparation on solution based platform. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 2883-2887.
- [21] JRani, J. R., Lim, J., Oh, J., Kim, D., Lee, D., Kim, J. W., ... & Jun, S. C. (2013). Substrate and buffer layer effect on the structural and optical properties of graphene oxide thin films. *RSC advances*, 3(17), 5926-5936.
- [22] Zhao, J., Liu, L., & Li, F. (2015). *Graphene oxide: physics and applications* (Vol. 1, p. 161). London, UK:: Springer.
- [23] Fujimoto, A., Yamada, Y., Koinuma, M., & Sato, S. (2016). Origins of sp³C peaks in C1s X-ray photoelectron spectra of carbon materials. *Analytical chemistry*, 88(12), 6110-6114.
- [24] Weippert, J., Ulas, S., Strelnikov, D., Böttcher, A., & Kappes, M. M. (2018). Formation of sublimable nanographene oxides by reacting coronene films with atomic oxygen. *The Journal of Physical Chemistry C*, 122(50), 28588-28600.
- [25] Barinov, A., Malcioglu, O. B., Fabris, S., Sun, T., Gregoratti, L., Dalmiglio, M., & Kiskinova, M. (2009). Initial stages of oxidation on graphitic surfaces: photoemission study and density functional theory calculations. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(21), 9009-9013.
- [26] Aliyev, E., Filiz, V., Khan, M. M., Lee, Y. J., Abetz, C., & Abetz, V. (2019). Structural characterization of graphene oxide: Surface functional groups and fractionated oxidative debris. *Nanomaterials*, 9(8), 1180.
- [27] Krishnamoorthy, K., Veerapandian, M., Yun, K., & Kim, S. J. (2013). The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation. *Carbon*, 53, 38-49.
- [28] Eigler, S., Grimm, S., Hof, F., & Hirsch, A. (2013). Graphene oxide: a stable carbon framework for functionalization. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(38), 11559-11562.



Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım3, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi

Ömer Laçın^{1*}, Bünyamin Dönmez¹

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-5276-3056), olacin@atauni.edu.tr
¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-7680-0755), bdonmez@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012387)

ATIF/REFERENCE: Laçın, O. & Dönmez, B. (2021). Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 1, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 985-989.

Öz

Bu çalışmada, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi analizi ile değişen sodyum nitrat konsantrasyonlarıyla elde edilen sentezler sonucunda grafen okside dönüşümü ve yapısal özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Grafit spektrumunda, herhangi bir fonksiyonel grupta ilgili anlamlı pikler gözlenmemiştir. Kimyasal oksidasyondan sonra spektrumlardan grafitin yapısal değişime uğradığı ve oksijen içeren fonksiyonel gruplara atfedilen yeni bantlar ortaya çıktığı görülmüştür. Grafen oksit spektrumlarında mutlaka görülmesi gereken 1723 cm^{-1} ve 1619 cm^{-1} bantları sırasıyla $\sim 1717\text{ cm}^{-1}$ ve $\sim 1615\text{ cm}^{-1}$ ortaya çıkmıştır. Bu analizden elde edilen sonuçların, X ışını fotoelektron spektroskopisi analizindeki sonuçlarla karşılaştırıldığında uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Bütün sonuçlar ışığında, bu şartlarda elde edilen sentezlerin, farklı özelliklere sahip grafen oksit örnekleri oldukları ve literatür ile uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Grafit, Grafen oksit, Hummers Yöntemi, Nanomalzeme, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

For Graphene Oxide Synthesis Obtained by Modified Hummers Method: Part 3, Fourier Transform Infrared Spectroscopy Analysis

Abstract

In this study, the conversion of graphene to oxide and the change of its structural properties as a result of syntheses obtained with varying sodium nitrate concentrations by Fourier Transform Infrared Spectroscopy analysis were investigated. No significant peaks related to any functional group were observed in the graphite spectrum. In the spectra after chemical oxidation, it was observed that the graphite undergoes a structural changes and new bands appear in which oxygen-containing functional groups are seen. The 1723 cm^{-1} and 1619 cm^{-1} bands, which are a must-see in the graphene oxide spectra, appeared $\sim 1717\text{ cm}^{-1}$ and $\sim 1615\text{ cm}^{-1}$, respectively. It was observed that the results obtained from this analysis were in good agreement with the results from the X-ray photoelectron spectroscopy analysis. In the light of all the results, it can be said that the syntheses obtained under these conditions are graphene oxide samples with different properties and are in agreement with the literature.

Keywords: Graphite, Graphene oxide, Hummers Method, Nanomaterial, Fourier Transform Infrared Spectroscopy

1. Giriş

Bir karbon allotropu olan grafit, altıgen şekilli düzleminde bulunan karbon atomlarının birbirine güçlü kovalent bağlarla ve düzlemler arasının ise zayıf Van Der Waals bağlarıyla bağlanmasıyla oluşan üç boyutlu bir kristaldir. Van Der Waals bağlarının zayıf olması tabakaların birbirlerinden ayrılabilmesine neden olur. Grafit, düşük maliyetli, kolay elde edilebilir, grafit oksit ve onun türevlerinden oluşan kompozit malzemelere kolaylıkla dönüşebilmesinden dolayı son yıllarda çok büyük bir ilgi görmektedir [1-2].

2 boyutlu bir malzeme olan Grafen Oksit (GO) ise, oksijen içeren fonksiyonel grupların olduğu karbon esaslı bir malzemedir. Grafitin oksidasyonundan sonra çok sayıdaki tabakalar kolayca ayrılabilirdiğinden dolayı grafitin oksite dönüşüm de kolaydır. Ayrıca bu yöntemle elde edilen GO'nun değişebilen, yapısal, elektronik ve optik özellikleri, hidrofilik olması ve suda çok iyi disperse olabilmesi nedeniyle, savunma sanayi, enerji, biyokimya, kaplama gibi bir çok teknolojide geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Sentez aşamalarında mevcut ve oluşan tehlikeli kimyasallardan dolayı, bunları indirgeyebilmek için son yıllarda grafitten grafit oksit eldesi üzerine oldukça fazla çalışma yapılmaktadır [3-8]. Ayrıca bu durumdan dolayı, sentezlenen her GO'nun literatüre önemli bir katkı sağlayacağı rapor edilmektedir [9].

GO üretim yöntemlerindeki en önemli dezavantajlar, toksik ve tehlikeli kimyasalların kullanılması ve oluşan ürünlerde bir takım zehirli gazların ortaya çıkmasıdır. Şu ana kadar yapılan çalışmalarda, çok tehlikeli olan ClO₂ yerine KMnO₄ gibi kuvvetli bir oksitleyici ajan ve dumanlı asit buharı oluşturan nitrik asit yerine sodyum nitrat kullanan ve reaksiyon süresini de kısaltan Hummers metodu [10] en avantajlı yöntem olmuştur. Bu yöntemde grafit; KMnO₄, konsantre H₂SO₄ ve NaNO₃ karışımı ile oksidasyon reaksiyonuna sokulmuştur. Burada oluşan Mn₂O₇ gerçek oksidan tür olup aromatik yapılar üzerindeki doymamış alifatik çift bağları seçici olarak oksitlemektedir [11]. Bu yöntemin dezavantajları ise; NO₂ ve N₂O₄ gibi toksik gazların oluşumu, sıcaklığın 95 °C'nin üzerine çıkması durumunda KMnO₄'ın patlama riski ve sulu çözeltiden kristal kafese hapsolan Na⁺ ve NO₃⁻ iyonlarının uzaklaştırılma zorluğudur [12].

Bu yüzden yapılan sonraki çalışmalarda Hummers yöntemi modifiye edilip bu dezavantajları azaltma yolları araştırılmıştır. Bu çalışmalarda; reaksiyon şartları değiştirilmesi, KMnO₄ yerine K₂FeO₄ kullanılması, NaNO₃ yerine ise konsantre asit miktarının artırılması veya H₂SO₄ ile birlikte H₃PO₄ kullanılması gibi değişiklikler yapılmıştır [13].

Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisi (FTIR) ile, katı ve sıvı örneklerin kızıl ötesi aktif molekül özellikleri kullanılarak yapılarında bulunan bileşiklerdeki bağların durumu ve yerleri ve bileşik yapısının aromatik ya da alifatik olup olmadığı belirlenir. FTIR spektroskopisi, 4000-400 cm⁻¹ frekans bölgesinde elektromanyetik radyasyonu absorblamak için

kimyasal bağlarla birleştirilen kızıl ötesi aktif atomların temel özelliklerinden faydalanılır.

FTIR analizi ile farklı NaNO₃ konsantrasyonlarıyla elde edilen sentezler sonucunda, grafitin okside dönüşümünün ve yapısal özelliklerinin değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

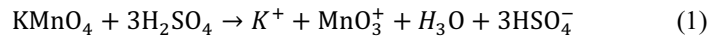
2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Materyaller

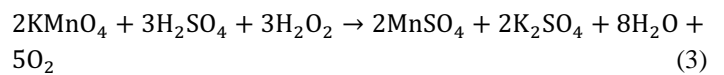
Çalışmada; merck-325 meş grafit tozu, merck-sodyum nitrat, merck-%98'lik sülfürik asit, merck-potasyum permanganat, ultra deiyonize su, merck-%30'luk hidrojen peroksit ve fluka-%37'lik hidroklorik asit kimyasalları kullanılmıştır. Materyal olarak ise; 250 ml'lik cam reaktör, ultrasonik banyo 150w (çalışkan lab.), çeker ocak, ısıtıcı manyetik karıştırıcı (ıka yellowline msh basic), pH metre (mettler toledo), santifürj cihazı, etüv, termometre kullanılmıştır.

2.2. Deneysel Sistem

Şekil 1'de GO sentezi için deneysel akış şeması verilmiştir. Burada oksidasyon reaksiyonu; 1 g grafit tozu, 0-1g aralığında değişen NaNO₃ ve 23 mL H₂SO₄ 'in 250 mL'lik cam reaktöre ilave edilmesiyle başlanmıştır. Karışım, 30 dk homojen bir süspansiyonun elde edildiği 500 rpm'de karıştırılıp literatürdeki diğer modifiye Hummers yöntem- lerinden farklı olarak 40 dakika boyunca -15 °C'de dondurucuda bekletilmiştir. Daha sonra numune buz banyosunda 0°C'ye getirilmiş ve yaklaşık 1 saat boyunca kademeli olarak 3 g KMnO₄ ilave edilerek Eşitlik 1-2 oksidasyon reaksiyonları gerçekleştirilmesiyle koyu yeşil renkli grafit oksit oluşumu gözlenmiştir (bu aşamada sıcaklık 5°C'yi geçmemelidir) [14].



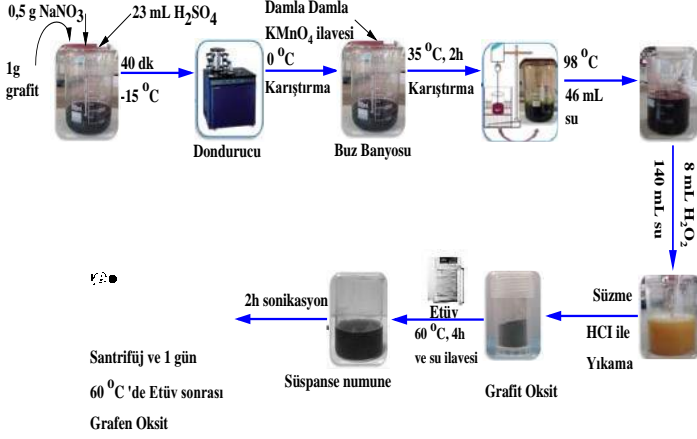
Sıcaklık 35 °C'ye ayarlanıp numune 2 saat boyunca karıştırıldıktan sonra (sıcaklık bu aşamada 50 °C'yi geçmemelidir) GO'ya dönüştürülmüştür. Açık kahverengiye dönen karışımın sıcaklığı 98 °C'ye yükselttilip kontrollü bir biçimde 46 mL ultra saf su ilave edilerek 15 dk daha karıştırılıp rengin koyu kahveye dönüştüğü gözlenmiştir. Daha sonra, 140 mL ultra saf su ve 8 mL H₂O₂ ilavesiyle renk sarıya dönmüş ve KMnO₄ fazlası Eşitlik (3)'de gösterildiği gibi suda çözünen mangan sülfat tuzuna dönüştürülmüştür.



Son karışım 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra süzülüp ayrılan katı numune, bünyesindeki metal iyonlarını gidermek için %10'luk HCl ile ve reaksiyona girmeyen asit fazlasını gidermek için saf su ile pH 7 olana kadar yıkanmıştır. Karışım 60 °C'deki etüvde 4 saat kurutulduktan sonra saf su ilave edilerek elde edilen grafit oksit süspansiyonu 2 saat sonikasyona (güç: 150 W ve frekans: 33 KHz) tabi tutulmuş ve 5 dk boyunca 3000 dev.dk⁻¹ hız ile santifürj edilerek çözeltisinden ayrılmıştır.

Son olarak, katı numune 60 °C'deki etüvde 24 saat kurutularak GO sentezi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen numunelere, NaNO₃'ün artan konsantrasyonuna göre sırasıyla, GO-Na0 ve GO-Na0,50 kodları verilmiştir.



Şekil 1. Grafit Oksit Sentezi için Deneysel Akış Şeması

2.5. X Ray Difraksiyonu Analizi

Grafit ve sentez numunelerinin FTIR görüntüleri, Bruker Verteks 70v model spektroskopisi ile 400-4000 cm⁻¹ frekans bölgesinde tarama yapılarak oksijen içeren fonksiyonel grupların (epoksi, karboksil, hidroksil vs) belirlenmesi için elde edilmiştir.

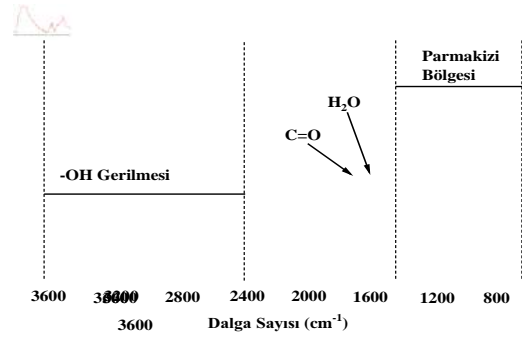
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çok sayıda fonksiyonel gruba sahip bir platform olan GO, çok zengin ve karmaşık spektrumlar sergiler. Şu ana kadarki çalışmalarda yapılan incelemelerde GO'nun FTIR spektrumları farklı yorumlandığı gözlenmiştir. Yapılan yayınların çoğunda, verilerin daha önce yanlış yorumlanan eserlere atıfta bulunulduğundan bu yanlış yorumlar yeniden üretilmektedir. Aşağıda, doğru yorumlanmış spektrumlar ve yapılan en tipik farklı yorumlar izah edilmiştir [15].

Tipik bir GO FTIR spektrumu (Şekil 2) keyfi olarak üç karakteristik bölgeye ayrılır. Bunlar; (i) 3600-2400 cm⁻¹ bölgesinde yoğun ve çok geniş bir absorpsiyon bandı, (ii) spektrumun ortasında en çok tanınan iki absorpsiyon bandı 1723 cm⁻¹ ve 1619 cm⁻¹ ve (iii) parmak izi bölgesinde bir grup üst üste binen sinyallerdir.

3600-2400 cm⁻¹ absorpsiyon bandı, O-H bağlarının gerilme modlarından kaynaklanmakta olup alkoller ve GO yapısına dahil edilen su molekülleri buna neden olur [15].

Spektrumun ortasındaki 1723 cm⁻¹ ve 1619 cm⁻¹'deki absorpsiyon bantları, GO-FTIR spektrumlarının imzası niteliğindedir. Bu iki bant, GO'larda görülmelidir.

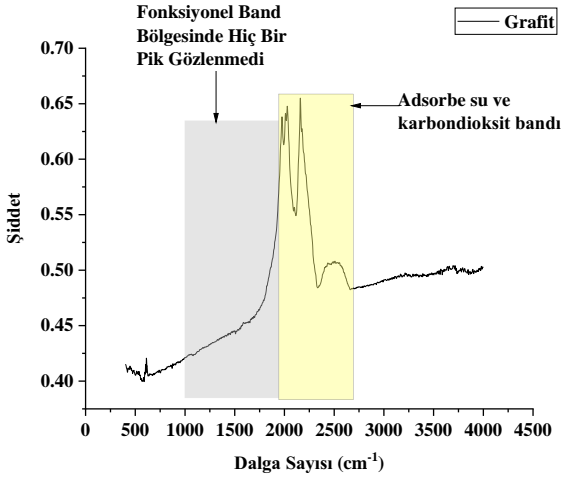


Şekil 2. Tipik bir GO numunesi için FTIR spektrumu

Yapılan çalışmalarda ilk pikin konumu 1710-1726 cm⁻¹ ve ikinci pikin konumu 1610-1624 cm⁻¹ arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu kaymaların, büyük olasılıkla GO örneklerinin doğasından çok kullanılan enstrüman ve yöntemle alakalı olduğu bildirilmiştir. 1723 cm⁻¹ bandı, açık bir şekilde karbonil (C=O)lerin gerilme modundan kaynaklandığı konusunda ortak bir fikir birliği vardır. 1619 cm⁻¹ bandı, literatürde yaygın olarak farklı yorumlanan absorpsiyon bandıdır. Yakın tarihli GO ile ilgili literatürde, en yaygın yorum C=C bağlarının gerilme modları olsa dahi farklı türlerle yorumlanan yayınlar da bulunmaktadır [15].

Parmak izi bölgesindeki bantların yorumlamaları, farklı fonksiyonel gruplardan çoklu bantların üst üste binmesi nedeniyle daha zordur. Yukarıda tartışılan iki bandın aksine, parmak izi bölgesindeki bantların bildirilen konumları ve yoğunlukları yöntemsel olarak değişmektedir [15-18]. Parmak izi bölgesindeki en yoğun bant, 1039-1060 cm⁻¹'de rapor edilmiştir. Bu kaymanın sebebi GO örneklerindeki yapısal farktan kaynaklanır. Bu aralıkta oluşan bandı, epoksi halkalar şeklinde yorumlayan birçok çalışma olmasına rağmen epoksi halkalar ~1220 cm⁻¹'de absorplanırlar. Parmak izi bölgesinde bildirilen diğer güçlü absorpsiyon bantları 1368 ve 1420 cm⁻¹'dir. Bu bantlar, sırasıyla alkol gruplarının bükülme modlarına [15,19] ve hidrojen bağlarında O-H'nin hidroksil, epoksi veya sülfat gruplarının hetero atomlarına olan deformasyon modlarına [18] atanmıştır. Bu bantlardan başka GO'nun FTIR spektrumunda yaklaşık 2100 cm⁻¹ ve 2340 cm⁻¹ civarında da oluşan bantların sırasıyla karboksil grubuna ve karbondiksite atandıkları birçok çalışmada bulunmaktadır. Bununla birlikte, parmak izi bölgesinde açıklanan tüm bu atamaların spekülatif olduğu da bilinmelidir [15].

Grafitin FTIR spektrumunda ise, herhangi bir fonksiyonel grupla ilgili önemli pikler bulunmaz. Fakat absorbe edilen su moleküllerine atanabilen bantlar ortaya çıkabilir. Çalışmada kullanılan grafitin ve seçilen sentez numunelerinin FTIR spektrumları sırasıyla, Şekil 3-4'de verilmiştir. Şekillerden elde edilen dalga sayısı değerleri ve band atamaları Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 3 Grafitin FTIR Spektrumu

Tablo 1 Seçilen GO Sentezlerinin FTIR Sonuçları

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)		Fonksiyonel Grup
GO-Na0	GO-Na0,50	
1033	1036	C-O alkoksi gerilme titreşimi
1214	1212	C-O-C epoksi gerilme titreşimi
1338	1338	C-OH bükülme titreşimi
1616	1612	C=C sp ² hibridize gerilme titreşimi
1716	1718	C=O karbonil gerilme titreşimi
2094	2092	O=C=O karboksil gerilme titreşimi
2341	2341	Atmosferik O=C=O gerilme titreşimi
3000-3700	3000-3700	-OH gerilme titreşimi

- Grafitin FTIR spektrumunda, herhangi bir fonksiyonel grupla ilgili anlamlı pikler gözlenmemiştir. Ancak adsorbe edilen su ve karbondioksitten dolayı 2100-2500 cm⁻¹ bant aralığında pikler gözlenmiştir.
- Kimyasal oksidasyondan sonra FTIR spektrumlarında oksijen içeren fonksiyonel gruplara atfedilen yeni bantlar ortaya çıkmıştır.
- Alkoksi, epoksi ve fenolik karbon (C-O) grupları sırasıyla; ~1034, ~1213 ve 1338 cm⁻¹ band aralığında ortaya çıkmıştır.
- GO-FTIR spektrumlarında mutlaka görülmesi gereken iki bant; sp² hibridize karbon (C-C/C=C) atomlarının varlığına atfedilen ~1615 cm⁻¹ ve karbonil grubuna atfedilen ~1717 cm⁻¹ değerlerinde ortaya çıkmıştır.
- Karboksil grubunun titreşim modunun ~2093 cm⁻¹ bandında gerilmesiyle ortaya çıkmıştır.
- Sentez numunelerinde ayrıca, atmosferik karbondioksitten dolayı 2341 cm⁻¹ bandında ortaya çıkmıştır.
- Absorplanan su molekülleri, -OH gerilmesine katkıda bulunan 3000-3700 cm⁻¹ gibi geniş bir band aralığında tepe şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu, grafit ve su molekülleri arasında hidrojen bağlarının oluşmasına neden olup hidrofilik özellik göstermesine neden olmuştur.

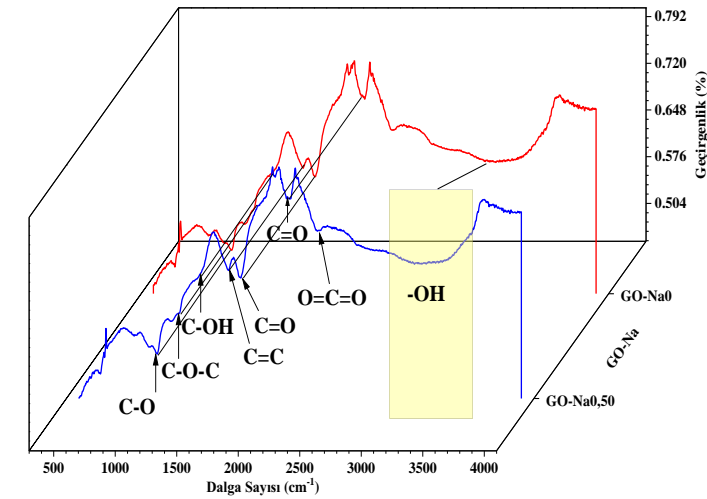
Bu kısımda elde edilen sonuçlar, FTIR analizi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Bütün sonuçlar ışığında, bu şartlarda elde edilen sentezlerin, farklı özelliklere sahip grafit oksit örnekleri oldukları ve literatür ile uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi BAPSİS Birimi tarafından Temel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Moosa, A., and Abed, M. (2021). Graphene preparation and graphite exfoliation. *Turkish journal of Chemistry*, 45(3),493-519.
- [2] Dresselhaus, G., Dresselhaus, M. S., & Saito, R. (1998). *Physical properties of carbon nanotubes*. World scientific.
- [3] Chen, J., Yao, B., Li, C., & Shi, G. (2013). An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, 64, 225-229.
- [4] Huang, X., Qi, X., Boey, F., & Zhang, H. (2012). Graphene-based composites. *Chemical Society Reviews*, 41(2), 666-686.



Şekil 4 GO-Na FTIR Spektrumları

4. Sonuç

Şekil 3-4 ve Tablo 1 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- [5] Tiyek, İ., Dönmez, U., Yıldırım, B., Alma, M. H., Ersoy, M. S., & Karataş, Ş. (2016). Kimyasal yöntem ile indirgenmiş grafen oksit sentezi ve karakterizasyonu. *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 349-357.
- [6] Paulchamy, B., Arthi, G., & Lignesh, B. D. (2015). A simple approach to stepwise synthesis of graphene oxide nanomaterial. *J Nanomed Nanotechnol*, 6(1), 1.
- [7] Sun, L., & Fugetsu, B. (2013). Mass production of graphene oxide from expanded graphite. *Materials Letters*, 109, 207-210.
- [8] Brisebois, P. P., & Siaj, M. (2020). Harvesting graphene oxide—years 1859 to 2019: a review of its structure, synthesis, properties and exfoliation. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(5), 1517-1547.
- [9] Shamailla, S., Sajjad, A. K. L., & Iqbal, A. (2016). Modifications in development of graphene oxide synthetic routes. *Chemical Engineering Journal*, 294, 458-477.
- [10] Hummers Jr, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of graphitic oxide. *Journal of the american chemical society*, 80(6), 1339-1339.
- [11] Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*, 39(1), 228-240.
- [12] Lavin-Lopez, M. D. P., Romero, A., Garrido, J., Sanchez-Silva, L., & Valverde, J. L. (2016). Influence of different improved hummers method modifications on the characteristics of graphite oxide in order to make a more easily scalable method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(50), 12836-12847.
- [13] Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., ... & Tour, J. M. (2010). Improved synthesis of graphene oxide. *ACS nano*, 4(8), 4806-4814.
- [14] Peng, L., Xu, Z., Liu, Z., Wei, Y., Sun, H., Li, Z., ... & Gao, C. (2015). An iron-based green approach to 1-h production of single-layer graphene oxide. *Nature communications*, 6(1), 1-9.
- [15] Eigler, S., & Dimiev, A. M. (2016). Characterization techniques. *Graphene Oxide: Fundamentals and Applications*. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- [16] Pendolino, F., Parisini, E., & Lo Russo, S. (2014). Time-dependent structure and solubilization kinetics of graphene oxide in methanol and water dispersions. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(48), 28162-28169.
- [17] Ambrosi, A., Chua, C. K., Bonanni, A., & Pumera, M. (2012). Lithium aluminum hydride as reducing agent for chemically reduced graphene oxides. *Chemistry of Materials*, 24(12), 2292-2298.
- [18] Seredych, M., & Bandosz, T. J. (2010). Combined role of water and surface chemistry in reactive adsorption of ammonia on graphite oxides. *Langmuir*, 26(8), 5491-5498.
- [19] Szabó, T., Berkesi, O., & Dékány, I. (2005). DRIFT study of deuterium-exchanged graphite oxide. *Carbon*, 15(43), 3186-3189.



Çoklu Kaynak Gerektiren Parçalarda Kaynak Sırasının Genetik Algoritma Kullanılarak Belirlenmesi

Onur Yurdakul^{1*}, Başar Yavuz²

^{1*} Piri Reis Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8685-6819), oyurdakul@pirireis.edu.tr

² Piri Reis Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2871-4470), byavuz@pirireis.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012352)

ATIF/REFERENCE: Yurdakul, O., Yavuz, B. (2021). Çoklu Kaynak Gerektiren Parçalarda Kaynak Sırasının Genetik Algoritma Kullanılarak Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 990-992.

Öz

Artan enerji ihtiyacı-kullanımı ve yüksek rekabet şartları firmaları üretim aşamasında iyileştirmeler yapmaya itmektedir. Bu iyileştirmeler ile parça başına düşen maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Parça başına düşen maliyetlerin azaltılması yüksek rekabetin olduğu pazarda firmaları bir adım öne çıkaracaktır. Yüksek sayıda üretim yapan firmalar çeşitli bilgisayar destekli imalat programları kullanarak iyileştirmeler yapabilmektedir. Ancak bu tip programlar oldukça maliyetlidir. Özellikle küçük ya da orta ölçekli işletmeler için bu programların satın alınabilmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu düzeydeki firmaların da pazar içerisinde daha rekabetçi olabilmeleri için teknolojiyi kullanmaları gerekmektedir. Genetik algoritma ile düşük maliyetlerde iyileştirme sonuçlarının alınabilmesi mümkündür. Bu çalışmada da birden çok kaynaklı bölgeye sahip bir parça düşünülmüştür. Bu kaynakların hangi sıra ile yapılacak olması işlem süresini etkilediği için önemlidir. Kaynak sırasının doğru bir şekilde ayarlanması ile işlem daha kısa sürede bitirilebilecektir. Bu tip bir iyileştirme sağlanabilmesi amacıyla kaynaklar arası yolun belirlenmesi sırasında genetik algoritmadan yararlanılmıştır. Genetik algoritma ile üretilen yolun daha iyi bir sonuç verip vermediğinin anlaşılabilmesi amacıyla, kullanıcılar tarafından iki farklı rota belirlenmiştir. Belirlenen iki rota ile genetik algoritma tarafından belirlenen rota karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, genetik algoritma ilk rotadan % 20.62, ikinci rotadan % 3.75 daha kısa ve daha verimli bir sonuç vermiştir. Bu tip bir yazılım kullanımı birçok farklı işleme uyarlanabilir. Bu sayede çok çeşitli alanlardaki firmaların süreç iyileştirme aşamalarına yardımcı olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Kaynak, Rotalama, Süreç İyileştirme, Optimizasyon.

Determination of Welding Sequence in Pieces Requiring Multiple Weldings by Using Genetic Algorithm

Abstract

Increasing energy requirements and high competition conditions push companies to make renovations in the production phase. With the advancements to be made, it is aimed to reduce the costs per piece. Reducing the costs per piece will bring companies one step ahead in the highly competitive market. Companies that produce in large quantities can make improvements by using various computer aided manufacturing programs. However, such programs are quite expensive. It is often not possible to purchase these programs, especially for small or medium-sized businesses. Companies at this level also need to use technology in order to be more competitive in the market. With the genetic algorithm, it is possible to obtain better results at low costs. In this study, a piece with more than one welded location is considered. The order in which these weldings will be made is important because it affects the processing time. With the correct setting of the welding sequence, the process will be completed in a shorter time. In order to provide such an improvement, a genetic algorithm was used during the determination of the path between welds. In order to understand whether the path produced by the genetic algorithm gives a better result, two different routes were determined by the users. The two routes determined and the route determined by the genetic algorithm were compared. According to the comparison results, the genetic algorithm yielded 20.62% shorter and more efficient results than the first route, and 3.75% shorter than the second route. The use of this type of software is adaptable to many different processes. In this way, it will be able to assist the process improvement stages of companies in a wide variety of fields.

Keywords: Genetic Algorithm, Welding, Minimum Path, Process Improvement, Optimization.

* Sorumlu Yazar: oyurdakul@pirireis.edu.tr

1. Giriş

Günümüz artan üretim ihtiyacı parça başına düşen imalat süresinin kısalması ihtiyacını doğurmuştur. Özellikle yüksek adetli üretim yapılan alanlarda görece küçük iyileştirmeler dahi toplam maliyette önemli azalmalar sağlayarak işletmenin karlılığını arttırabilmektedir.

Kaynak, tüm alanlarda yaygın olarak kullanılan bir birleştirme yöntemidir. Karmaşık yapıların kaynak ile birleştirilmesi sırasında parça başına işlem süresinin kısaltılması önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında da önceden belirlenmiş olan birden fazla kaynaklı alana sahip olan bir parça düşünülmüştür. Bu parçanın kaynak yapım sırasında seçilecek yolun kısaltılması amacıyla genetik algoritmadan yararlanılmıştır.

Genetik algoritmalar yaklaşık ya da tam bir çözüm bulmak amacıyla kullanılır ve temel amacının optimizasyonun sağlanması olduğu söylenebilir. Adından da anlaşılacağı üzere genetik algoritmalar, evrimsel biyoloji tekniklerinin mühendislik ya da diğer alanlardaki problemlerin çözümü sırasında kullanılması mantığına dayanmaktadır. Mutasyon, seçim ya da çaprazlama gibi biyolojik tanımlar çerçevesinde, en optimal çözümü bulmayı amaçlamaktadır [1].

Genetik algoritma pek çok farklı alanda daha iyi çözüm bulunabilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmadan görsel işleme alanında kullanılmıştır. Burada aykırılık haritası oluşturulmuştur. Genetik algoritma ise bu harita üzerinden en iyi olan popülasyonun bulunmasını sağlamıştır [1].

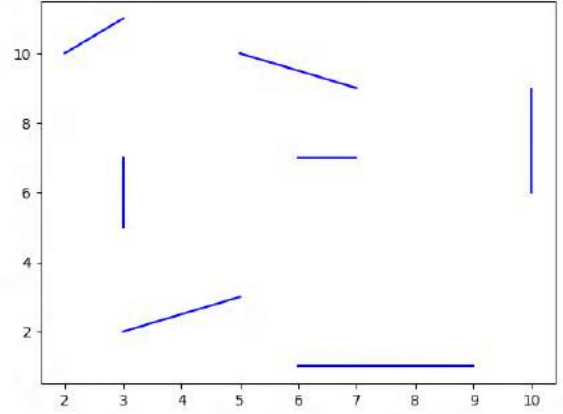
Genetik algoritmanın en büyük avantajı elinizde çözüme yönelik sabit bir formülün olmadığı durumlarda sizi çözüme yaklaştırmasıdır. Düşük sayıdaki değişkende çözüme ulaşmak görece kolay iken değişken sayısının çok fazla olduğu durumlarda çözüme ulaşmak zorlaşmaktadır. Daha önce bahsedilen mutasyon, çaprazlama ya da değiştirme gibi kavramlar yardımıyla problemin çözümüne yönelik olan en uygun yola ulaşılabilir. Genetik algoritma ya tam bir sonuç verecek ya da çözüme en yakın sonuca ulaşmamızı sağlayacaktır.

Genetik algoritma dışında farklı algoritmalarda kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada genetik algoritma ile geliştirilmiş model seçimi incelenmiştir. Çalışma da hem teorik bir inceleme yapılmış hem de numerik olarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir [2]. Wetter ve Wright bu çalışmalarında EnergyPlus [3] adlı yazılımı kullanarak bir simülasyonda gerçekleştirmişlerdir.

Başka bir çalışmada ise genetik algoritma kullanılarak inşaat projelerindeki su depolama alanlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Çalışmada birden çok depolama alanının en efektif şekilde planlanmasında genetik algoritmadan yararlanılarak bir çözüme ulaşılmıştır [4]. Genetik algoritmalar farklı kodlama mekanizmaları kullanılabilir. Bazı çalışmalarda bu kararın kullanıcı tarafından verilmesinin daha uygun olacağı belirtilmiştir [6] [7].

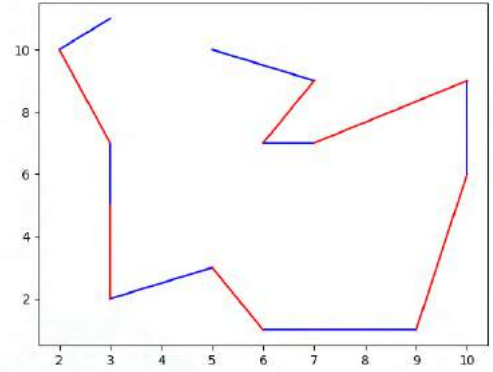
2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında oluşturulan bir sıralı kaynaklı sac malzeme varlığı kabul edilmiştir. Bu malzeme üzerinde birden fazla sayıda kaynak işlemi yapılan lineer bölgeler tanımlanmıştır (Şekil 1). Bu bölgelerin kaynaklı birleştirme ile birleştirilmesi sırasında hangi sıra ile işlemin gerçekleştirileceği en doğru şekilde belirlenmeye çalışılmıştır.

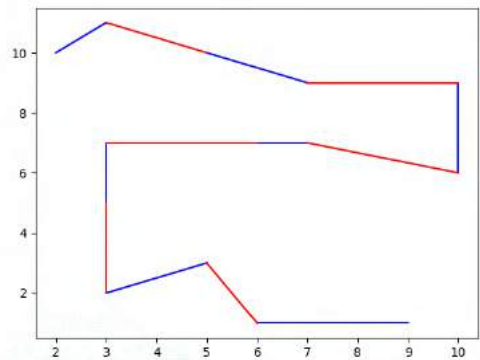


Şekil 1 Kaynakların pozisyonu

Python programlama dilinde yazılan genetik algoritma uygulamasıyla kaynak makinesinin belirlenen kaynak yerlerine en kısa yoldan ulaşması hedeflenmiştir. Genetik algoritma tarafından oluşturulan yolun optimuma en yakın sonuç olduğunu gösterebilmek için bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma işleminde aynı kaynak işlemi için 2 farklı kaynak sırası bir kullanıcı tarafından seçilmiş ve kaynaklı bölgeler arasındaki mesafe hesaplanmıştır. İlgili rotalar, olası rota 1 (Şekil 2) ve olası rota 2 (Şekil 3) olmak üzere aşağıda görülebilmektedir. Kırmızı alanlar kaynaklı bölgeler arasındaki boşta geçen mesafeyi vermektedir. Bu kırmızı yolların toplamının bulunması ile iyileştirme oranı belirlenecektir.

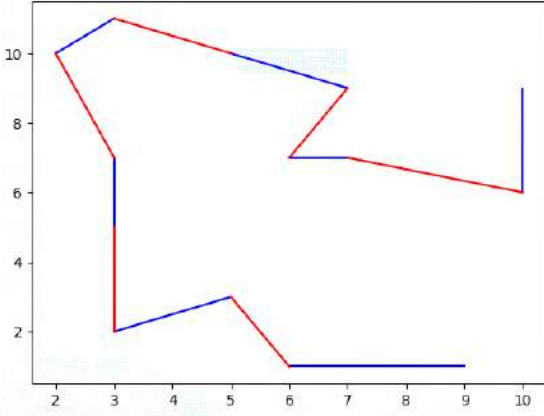


Şekil 2 Olası rotalama 1



Şekil 3 Olası rotalama 2

Genetik algoritma ile oluşturulan rota ise optimum rota olarak Şekil 4'te görülebilmektedir.



Şekil 4 Optimum rotalama

Elde edilen sonuçlar ve elde edilen iyileştirme oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İyileştirme değerleri

Rota	Birim Mesafe	İyileştirme (%)
Rota 1	19.339	%20.62
Rota 2	16.634	%3.75
Optimum Rota	16.033	---

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bir kullanıcı tarafından belirlenen kaynaklı birleştirme sırası Şekil 2 ve Şekil 3'de görülebilmektedir. Bu işlemde kaynaklı bölgeler arasında oluşan mesafeler 19.339 ve 16.634 birim olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre genetik algoritma kullanımıyla en kısa mesafe kat edilerek işlemlerin yapılabilmesi sağlanabilmektedir.

Özellikle üretim sayısının yüksek olduğu durumlarda, parça başına düşen sürenin kısaltılabilmesi toplam maliyet içerisinde önemli bir yer tutacaktır. Bu durumun ise firmalar nezdinde daha rekabetçi bir fiyatlandırma oluşturabilme şansını doğurması kaçınılmazdır.

Daha geniş ölçekte düşünüldüğünde ise düşen parça başı işlem süreleri, enerji kullanım miktarlarında da bir iyileşme olarak karşımıza çıkacaktır.

Bunun yanı sıra genetik algoritma tarafından oluşturulmuş olan kaynaklı birleştirme sırası ise Şekil 4'de görülebilmektedir. Bu sıra ile yapılan kaynak işleminde ise kaynaklı bölgeler arası geçiş mesafesi 16.033 birim olarak hesaplanmaktadır.

Genetik algoritma yardımıyla oluşturulan sonucun alınan yol cinsinden sırasıyla %20.62 ve %3.75 daha kısa olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

4. Sonuç

Çalışma kapsamında oluşturulan kaynaklı bir birleştirmede, kaynak sırası oluşturulması sırasında genetik algorithmadan yararlanılmıştır. Kullanılan algoritma sayesinde %20.62 oranında kaynaklı bölgeler arasındaki geçiş yönünden iyileştirme

sağlanmıştır. Bu tip algoritmaların kullanılması ile daha büyük ölçekli projelerde yüksek zaman ve maliyet tasarrufuna gidilebileceği söylenebilmektedir.

Kaynakça

- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W., Huang, Y., Pedersen, C. O., ... Glazer, J. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 4(33), 443-457.
- Eshelman, L., & Schaffer, J. (1993). *Real-coded genetic algorithms and interval-schemata*. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic algorithms in search optimization and machine learning*. Reading: Addison-Wesley.
- Goldberge, D. (1991). Real coded genetic algorithms, virtual alphabets, and blocking. *Complex Syst*, 5, 139-167.
- Hınçal, O., Altan-Sakarya, A., & Ger, A. (2011). Optimization of Multireservoir Systems. *Water Resour Manage*, 1465-1487.
- Minglun G., Yee-Hong, & Y. (2001). "Multi-resolution Stereo. *Stereo and MultiBaseline Vision* (pp. 21-29). IEEE.
- Wetter, M., & Wright, J. (2003). Comparison of a Generalized Pattern Search and a Genetic Algorithm Optimization Method. *Eight International IBPSA Conference*. Eindhoven.



Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 4, Raman Spektroskopisi Analizi

Ömer Laçın^{1*}, Bünyamin Dönmez¹

^{1*} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-5276-3056), olacin@atauni.edu.tr
¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-7680-0755), bdonmez@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012390)

ATIF/REFERENCE: Laçın, O. & Dönmez, B. (2021). Modifiye Hummers Yöntemi ile Elde Edilen Grafen Oksit Sentezleri İçin: Kısım 1, Raman Spektroskopisi Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 993-997.

Öz

Bu çalışmada, Raman Spektroskopisi analizi ile Hummers yöntemindeki sodyum nitrat konsantrasyonunun değiştirilmesiyle elde edilen sentezler sonucunda grafen okside dönüşümü ve yapısal özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Grafitin Raman spektrumunda; 1573,7 cm^{-1} 'de G (%32,3 pik alanlı) ve 2692,3 cm^{-1} 'de 2D (%54,1 pik alanlı) karakteristik bantları görülmüştür. Grafen oksit sentezlerinin Raman spektrumlarında ise sırasıyla; 1582,1 ve 1591,2 cm^{-1} 'de G bandı (~%23 pik alanlı) ve 1352,3 ve 1355,8 cm^{-1} 'de bir D bandı (~%51 pik alanlı) olmak üzere iki belirgin pik gözlenmiştir. Buna ilaveten sentez numunelerinde ~2928-2947 cm^{-1} 'de yeni bir D+D' bandı (~%12 pik alanlı) ortaya çıkmış ve grafitte 3228 cm^{-1} 'deki 2D' bandı ise kaybolmuştur. Kimyasal oksidasyondan sonra, grafitteki D bandı pik alanının %10,8 iken grafen oksit sentezlerinde ~%51'e çıkmış ve grafitteki 2D bandı pik alanının ~%54 iken GO sentezlerinde ~%15'e azalmıştır. D ve G bantlarının şiddet oranı (ID/IG) grafitin grafen okside geçişte, ~0,73'den ~1,00'a yükselmiştir. Bunun yanı sıra D, G ve 2D piklerinin maksimum pik yüksekliklerinin yarıya düştüğü genişlik değerleri sırasıyla; grafitte yaklaşık 42, 25 ve 73 cm^{-1} iken sentez numunelerinde ~175-187, ~79-83 ve ~300-500 cm^{-1} aralığında değişmiştir.

Bütün sonuçlar ışığında, bu şartlarda elde edilen sentezlerin, farklı özelliklere sahip grafen oksit örnekleri oldukları ve literatür ile uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Grafit, Grafen oksit, Hummers Yöntemi, Nanomalzeme, Raman Spektroskopisi.

For Graphene Oxide Synthesis Obtained by Modified Hummers Method: Part 4, Raman Spectroscopy Analysis

Abstract – In this study, the conversion of graphite to oxide and the change of its structural properties as a result of the syntheses obtained by changing the sodium nitrate concentration in the Hummers method with Raman Spectroscopy analysis were investigated. In the Raman spectrum of graphite, characteristic bands of G (32.3% peak area) and 2D (54.1% peak area) were observed at 1573,7 cm^{-1} and 2692,3 cm^{-1} . In the Raman spectra of graphene oxide syntheses, respectively; two distinct peaks were observed, a G band (~23% peak area) at 1582,1-1591,2 cm^{-1} and a D band (~51% peak area) at 1352,3 -1355,8 cm^{-1} . In addition, a new D+D' band (~12% peak area) appeared in the synthesis samples at ~2928-2947 cm^{-1} and the 2D' band at 3228 cm^{-1} in graphite disappeared. After chemical oxidation, in graphene oxide syntheses it increased to ~51%, while the peak area of D band in graphite was 10.8% and in graphene oxide syntheses it decreased to ~15% while the peak area of 2D band in graphite was ~54%. The intensity ratio (ID/IG) of the D and G bands increased from ~0,73 to ~1,00 during the transition from graphite to graphene oxide. In addition, the width values at which the maximum peak heights of the D, G and 2D peaks were varied in the range of ~175-187, ~79-83 and ~300-500 cm^{-1} in the synthesis samples, while in graphite they were about 42, 25 and 73 cm^{-1} , respectively. In the light of all the results, it can be said that the syntheses obtained under these conditions are graphene oxide samples with different properties and are in agreement with the literature.

Keywords: Graphite, Graphene oxide, Hummers Method, Nanomaterial, Raman Spectroscopy.

1. Giriş

Grafit kristali, altıgen şekilli düzlemlerin birbirlerine çoklu tabakalarla bağlanmış üç boyutlu bir yapı sergiler. Düzlem içindeki karbon atomlarının birbirine güçlü kovalent bağlarıyla, düzlemler arasının ise zayıf Van Der Walls bağlarıyla bağlanmasıyla bu yapı oluşur. Düzlemler arası bu bağların zayıf olmaları sebebiyle tabakalar birbirlerinden çok kolay bir şekilde ayrılırlar. Ayrıca, grafitin düşük maliyeti, kolay elde edilmesi, grafit oksit ile onun türevlerinden oluşan kompozit malzemelere kolaylıkla dönüşebilmesi nedeniyle son yıllarda çok büyük bir ilgi görmektedir [1-2].

Karbon esaslı ve çok tabakalı bir yapıya sahip olan grafitin oksidasyonu sonucu, tabakaların ayrışıp yapıya oksijen içeren fonksiyonel grupların girmesiyle 2 boyutlu grafit oksit (GO) oluşmaktadır. GO'nun yapısındaki bu fonksiyonel grupların karbon atomlarına oranının değişebilmesi, elektronik ve optik özelliklerinin ayarlanabilmesi ve hidrofilik özelliğinden dolayı suda çok iyi disperse olabilmesi nedeniyle; savunma sanayi, enerji, biyokimya, kaplama gibi bir çok teknolojiye geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bunun yanı sıra üretim aşamalarında tehlikeli kimyasalların mevcudiyetinden dolayı bu olumsuzluğu en aza indirebilmek amacıyla son yıllarda grafitten grafit oksit elde edilmesine çalışmalar yapılmaktadır [3-8].

Ayrıca, reaksiyon şartlarıyla GO'nun morfolojik özelliklerinin değişebilmesinden dolayı, sentezlenen her GO'nun literatüre önemli bir katkı sağlayacağı da bildirilmektedir [9].

GO üretim metodlarında kullanılan kimyasal ve oluşan ürünlerin ortak dezavantajları toksik ve tehlikeli olmalarıdır. Bu metodlardan en uygun olanı, üretimin kolaylığı, sentez süresinin kısa oluşu, maliyetin düşük ve yan ürünlerinin diğer yöntemlere göre daha az toksik olmasından dolayı, Hummers yöntemi [10]'dir. Bu yöntemde; oksidan olarak patlayıcı özelliğe sahip ClO_2 yerine daha kuvvetli oksitleme özelliği olan KMnO_4 , dumanlı asit buharı oluşturan nitrik asit yerine sodyum nitrat, grafit ve konsantre karışımı reaksiyona sokulur. Reaksiyonla oluşan Mn_2O_7 , aromatik yapılar üzerindeki doymamış alifatik çift bağları seçici olarak oksitler [11]. Bu yöntemin dezavantajları ise; sodyum nitratın dolayı NO_2 ve N_2O_4 gibi toksik gazların oluşması, 95°C 'nin üzerinde KMnO_4 'ün patlama riski ve kristal yapıya giren Na^+ ve NO_3^- iyonlarının uzaklaştırılma zorluğudur [12].

Bu nedenle Hummers yönteminin modifiye edilmesiyle açıklanan dezavantajları azaltabilmek için, reaksiyon şartlarının değiştirilmesi, KMnO_4 yerine K_2FeO_4 kullanılması, NaNO_3 yerine konsantre asit miktarının artırılması veya H_2SO_4 ile birlikte H_3PO_4 kullanılması gibi çalışmalar yapılmıştır [13].

Raman Spektroskopisi GO'nun karakterizasyonun da çokça kullanılan bir titreşim spektroskopisi olup numune yüzeyine ışık kaynağından gönderilen fotonların esnek olmayan saçılmaları incelenerek numune içerisindeki atom

veya moleküllerin yapmış olduğu bağlar ve kristal yapıdaki kusurları hakkında bilgi sağlar.

Bu çalışmada, Raman Spektroskopisi analizi ile değişik NaNO_3 konsantrasyonlarında elde edilen sentezlerin grafit oksite dönüşümü ve değişen yapısal özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

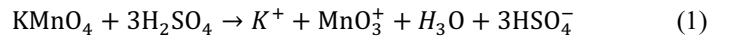
2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Materyaller

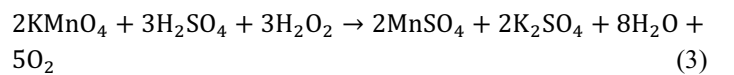
Çalışma kimyasalları olarak; merck-325 meş grafit tozu, merck-sodyum nitrat, merck-%98'lik sülfürik asit, merck-potasyum permanganat, ultra deiyonize su, merck-%30'luk hidrojen peroksit ve fluka-%37'lik hidroklorik asit kullanılmıştır. Materyaller ise; 250 ml'lik cam reaktör, ultrasonik banyo 150w (çalışkan lab.), çeker ocak, ısıtıcı manyetik karıştırıcı (ıka yellowline msh basic), pH metre (mettler toledo), santifürüj cihazı, etüv, termometre şeklindedir.

2.2. Deneysel Sistem

Grafit oksit sentezlerinin deneysel akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Reaksiyonun gerçekleştiği 250 mL'lik cam reaktör içerisine, 1 g grafit tozu, 0-1g aralığında değişen NaNO_3 ve 23 mL H_2SO_4 ilave edilmiştir. Karışım 30 dk karıştırılıp literatürdeki diğer modifiye Hummers yöntemlerinden farklı olarak 40 dakika boyunca -15°C 'de dondurucuda bekletilmiştir. Karıştırma hızı, homojen bir süspansiyonun elde edildiği 500 rpm'e ayarlanmıştır. Dondurucudaki numune buz banyosuna konularak 0°C 'ye getirilmiş ve yaklaşık 1 saat boyunca kademeli olarak 3 g KMnO_4 ilave edilerek Eşitlik 1-2'deki oksidasyon reaksiyonlarıyla koyu yeşil renkli grafit oksit oluşumu gözlenmiştir (bu aşamada sıcaklık 5°C 'yi geçmemesine dikkat edilmelidir) [14].



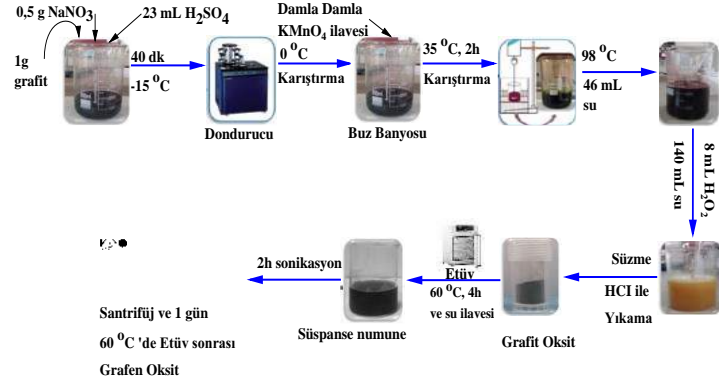
Karışımı mekanik olarak GO'ya dönüştürebilmek için, 35°C sıcaklıkta 2 saat 500 rpm'de karıştırılmıştır (sıcaklık bu aşamada 50°C 'yi geçmemesine dikkat edilmelidir). Süre sonunda açık kahverenkli karışıma 98°C sıcaklıkta kontrollü bir biçimde 46 mL ultra saf su ilave edilmiş ve 15 dk daha karıştırılmıştır (Bu esnada rengin koyu kahveye dönüştüğü gözlenmiştir). Daha sonra, 140 mL ultra saf su ve 8 mL H_2O_2 ilavesiyle renk sarıya dönmüş ve KMnO_4 fazlası Eşitlik (3)'de gösterildiği gibi suda çözünen mangan sülfat tuzuna dönüştürülmüştür.



Son karışım 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve süzülerek ayrılan katı numune, %10'luk HCl ile bünyesindeki metal iyonlarını gidermek için ve saf su ile reaksiyona girmeyen asit fazlasını gidermek için pH 7 olana kadar yıkanmıştır. Karışım 60°C 'ye ayarlanmış etüvde 4 saat kurutulmuş sonra saf su ilave edilerek elde edilen GO süspansiyonu 2 saat sonikasyona (güç: 150 W ve frekans: 33 KHz) tabi tutulmuş ve daha sonra 5 dk

boyunca 3000 dev.dk⁻¹ hız ile santifürj edilerek çözeltilisinden ayrılmıştır. Son olarak, katı numune 60 °C'deki etüvde 24 saat kurutulmuş ve GO sentezi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen örnekler NaNO₃'ün artan konsantrasyonuna göre sırasıyla, GO-Na0 ve GO-Na0,50 kodları verilmiştir.



Şekil 1. Grafen Oksit Sentezi için Deneysel Akış Şeması

2.3. Raman Spektroskopisi Analizi

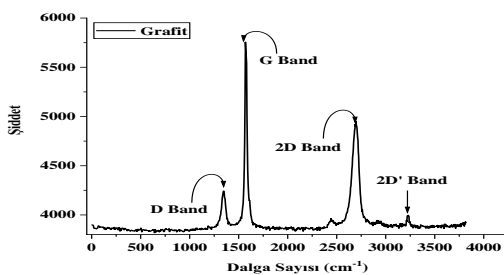
Raman spektroskopisi analizi ile, numune içerisindeki atom veya moleküllerin yapmış olduğu bağlar ve kristal yapıdaki kusurları hakkında bilgi sağlandığından dolayı grafen türevli malzemelerin molekül yapısını aydınlatılabilen çok iyi bir karakterizasyon aracıdır.

GO'nun Raman spektrumlarında; D, G ve 2D bandlarındaki piklerin şiddet oranları ile maksimum pik yüksekliklerinin yarıya düştüğü genişlik (FWHM) değerleri, molekül yapısının aydınlatılmasına katkı sağlayan en önemli bilgilerdir. Bunun yanı sıra D+D' ve 2D' bandlarındaki pikler de katkı sağlamaktadır [15].

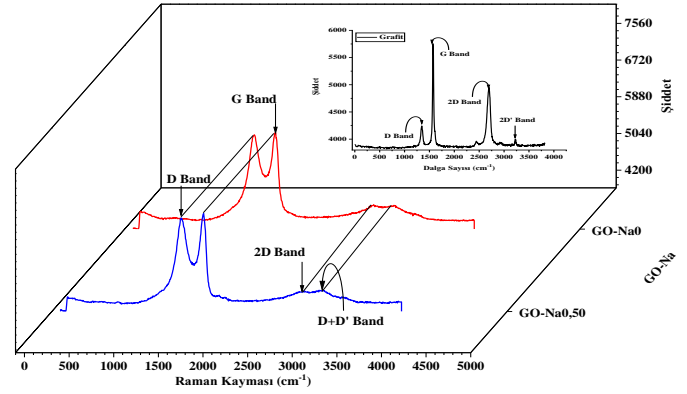
Bu çalışmada WITech alpha 300R model spektroskopisi kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Grafit ve seçilmiş GO sentezlerinin Raman spektrumları Şekil 2-3'de grafik edilmiş ve grafiklerden okunan değerler Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'deki sinyal veren bantların dalga sayıları, FWHM ve pik alanı değerleri; Gauss (Gsn, R²:0,972) ve Lorentzian (Lrz, R²:0,988) dağılım analizlerine göre ayrı ayrı belirlenmiştir.



Şekil 2. Grafitin Raman Spektrumu



Şekil 3. GO-Na Raman Spektrumu

Tablo 1. Grafit ve Seçilen GO Sentezlerinin Raman Spektroskopisi Analiz Sonuçları

Parametre		Grafit	GO-Na0	GO-Na0,50
I _D /I _G		0,73	0,993	0,983
D Bandı (cm ⁻¹)	Gsn	1345,7	1357,2	1360,6
	Lrz	1345,6	1352,3	1355,8
D Bandı Şiddeti		4243	5955	5937
G Bandı (cm ⁻¹)	Gsn	1573,8	1583,0	1589,5
	Lrz	1573,7	1582,1	1591,2
G Bandı Şiddeti		5756	5998	6042
2D Bandı (cm ⁻¹)	Gsn	2691,5	2681,0	2711,6
	Lrz	2692,3	2668,6	2687,5
2D Bandı Şiddeti		4353	4263	4240
D+D' Bandı (cm ⁻¹)	Gsn	-	2946,5	2961,9
	Lrz	-	2927,4	2946,7
2D' Bandı (cm ⁻¹)	Gsn	3228,0	-	-
	Lrz	3228,0	-	-
FWHM (D, cm ⁻¹)	Gsn	50,27	226,1	213,1
	Lrz	41,75	187,3	175,1
FWHM (G, cm ⁻¹)	Gsn	29,79	101,3	96,6
	Lrz	24,71	82,8	78,6
FWHM (2D, cm ⁻¹)	Gsn	85,59	325,2	475,8
	Lrz	72,94	300,5	552,9
D Pik alanı (%)	Gsn	10,7	56,0	54,1
	Lrz	10,8	52,8	49,6
G Pik alanı (%)	Gsn	33,1	26,1	26,9
	Lrz	32,3	22,8	22,8
2D Pik alanı (%)	Gsn	54,2	9,4	13,8
	Lrz	54,1	9,3	19,3
2D' Pik alanı (%)	Gsn	2,0	-	-
	Lrz	2,8	-	-
D+D' Pik alanı (%)	Gsn	-	8,5	5,1
	Lrz	-	15,1	8,4

4. Sonuç

Şekil 2-3 ve Tablo 1 incelenildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Grafitte, iki güçlü bant gözlemlenmiş olup dalga sayısı Lorentzian dağılımına göre bunlar, 1573,7 cm^{-1} 'de G (%32,3 pik alanlı) ve 2692,3 cm^{-1} 'de 2D (%54,1 pik alanlı) bantlarıdır. G bandı, hem halkalı hem de düz zincirli yapılardaki sp^2 karbon atomlarının bağ gerilmesi nedeniyle oluşan birinci dereceden spektrumdur. 2D bandının şiddeti ve genişliğinin fazla olması ise, malzemelerin çok tabakadan oluştuğunun göstergesidir [16]. Grafitte ayrıca, D (%10,8 pik alanlı) ve 2D' (%2,8 pik alanlı) bantları da sırasıyla 1345,6 ve 3228 cm^{-1} 'de oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu bantların mevcudiyeti, grafitteki boşluklar ve amorf karbon türleri gibi bazı yapısal bozukluğun bir göstergesidir [17-18].

GO-Na0 ve GO-Na0,50 sentezlerinin Raman spektrumlarında sırasıyla; 1582,1 ve 1591,2 cm^{-1} 'de G bandı (~%23 pik alanlı) ve 1352,3 ve 1355,8 cm^{-1} 'de bir D bandı (~%51 pik alanlı) olmak üzere iki belirgin pik gözlemlenmiştir. Buradaki bant değerlerinin grafitteki bant değerlerine göre kaymalarının sebebi, karbon tabakalarında oluşan fonksiyonel gruplara ve GO-Na sentezlerindeki düşük band kaymalarının sebebi ise NaNO_3 konsantrasyonu değerinin değişmesine atfedilebilir [19].

Kimyasal oksidasyondan sonra, grafitteki D bandı pik alanı %10.8 iken, GO sentezlerinde ~%51'e yükselmesi sonrası ve grafitteki 2D bandı pik alanı ~%54 iken, GO sentezlerinde ~%15'e azalması, bu sentezlerin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ve literatür değerleri ile uyum içerisinde olduğunu göstermiştir [20]. 2D bandının yoğunluğundaki etkin azalma ise, oksidasyon reaksiyonu sonucu tabakaların kırılmasına atfedilir [21]. Buna ilaveten GO-Na sentezlerinde ~2928-2947 cm^{-1} 'de kusur oluşumunu doğrulayan yeni bir D+D' bandı (~%12 pik alanlı) ortaya çıkmış ve grafitte 3228 cm^{-1} 'deki 2D' bandı ise kaybolmuştur. D+D' bandının oluşumu, GO örneklerini grafitten ayıran önemli bir kanıttır [22]. Grafit ile karşılaştırıldığında, GO-Na örneklerindeki zayıf ve geniş 2D piki ile birlikte belirgin olan D piki, grafit yapısındaki hibridize sp^2 C atomlarının yapısının bozulması sonucu GO'ya dönüştürüldüğünün ana belirtileridir.

D ve G bantlarının şiddet oranı (ID/IG), grafit tabakalarındaki bozulma derecesinin iyi bir göstergesidir. Grafitten grafen okside geçişte ID/IG oranının ~0,73'den ~1,00'a artması; sp^2 bağlı karbon atomlarının büyük kısmının sp^3 bağlı karbon atomlarına dönüştürülmesiyle düzlem içi kristalde bir azalmayı ve grafitin kısmi olarak amorf yapı göstermesi, oksidasyonun başarısını destekler.

ID/IG'nin yanısıra D, G ve 2D piklerinin FWHM değerleri de oksidasyonun başarısının bir göstergesidir. Lorentzian dağılımına göre D, G ve 2D bantlarının FWHM değerleri sırasıyla grafitte yaklaşık 42, 25 ve 73 cm^{-1} iken GO-Na sentezlerinde ~175-187, ~79-83 ve ~300-500 cm^{-1} aralığında değişmektedir. G pikinin FWHM'sinin küçük olmasının nedeni, grafen oksit tabakalarındaki sp^2 hibridize karbon bağlarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanır. D pikinin FWHM'sinin büyük

olması ise yapıdaki hetero atomlardan dolayı oluşan yapısal bozukluk anlamına gelir [17].

Bütün sonuçlar ışığında, bu şartlarda elde edilen sentezlerin, farklı özelliklere sahip grafen oksit örnekleri oldukları ve literatür ile uyum içerisinde oldukları söylenebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi BAPSİS Birimi tarafından Temel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Moosa, A., and Abed, M. (2021). Graphene preparation and graphite exfoliation. *Turkish Journal of Chemistry*, 45(3), 493-519.
- [2] Dresselhaus, G., Dresselhaus, M. S., & Saito, R. (1998). *Physical properties of carbon nanotubes*. World scientific.
- [3] Tiyek, İ., Dönmez, U., Yıldırım, B., Alma, M. H., Ersoy, M. S., & Karataş, Ş. (2016). Kimyasal yöntem ile indirgenmiş grafen oksit sentezi ve karakterizasyonu. *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 349-357.
- [4] Paulchamy, B., Arthi, G., & Lignesh, B. D. (2015). A simple approach to stepwise synthesis of graphene oxide nanomaterial. *J Nanomed Nanotechnol*, 6(1), 1.
- [5] Brisebois, P. P., & Siaj, M. (2020). Harvesting graphene oxide—years 1859 to 2019: a review of its structure, synthesis, properties and exfoliation. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(5), 1517-1547.
- [6] Sun, L., & Fugetsu, B. (2013). Mass production of graphene oxide from expanded graphite. *Materials Letters*, 109, 207-210.
- [7] Huang, X., Qi, X., Boey, F., & Zhang, H. (2012). Graphene-based composites. *Chemical Society Reviews*, 41(2), 666-686.
- [8] Chen, J., Yao, B., Li, C., & Shi, G. (2013). An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, 64, 225-229.
- [9] Shamaila, S., Sajjad, A. K. L., & Iqbal, A. (2016). Modifications in development of graphene oxide synthetic routes. *Chemical Engineering Journal*, 294, 458-477.
- [10] Hummers Jr, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339-1339.
- [11] Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 228-240.
- [12] Lavin-Lopez, M. D. P., Romero, A., Garrido, J., Sanchez-Silva, L., & Valverde, J. L. (2016). Influence of different improved hummers method modifications on the characteristics of graphite oxide in order to make a more easily scalable method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(50), 12836-12847.
- [13] Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., ... & Tour, J. M. (2010). Improved synthesis of graphene oxide. *ACS nano*, 4(8), 4806-4814.

- [14] Peng, L., Xu, Z., Liu, Z., Wei, Y., Sun, H., Li, Z., ... & Gao, C. (2015). An iron-based green approach to 1-h production of single-layer graphene oxide. *Nature communications*, 6(1), 1-9.
- [15] Ferrari, A. C., & Basko, D. M. (2013). Raman spectroscopy as a versatile tool for studying the properties of graphene. *Nature nanotechnology*, 8(4), 235-246.
- [16] Gupta, A., Chen, G., Joshi, P., Tadigadapa, S., & Eklund, P. C. (2006). Raman scattering from high-frequency phonons in supported n-graphene layer films. *Nano letters*, 6(12), 2667-2673.
- [17] Ferrari, A. C., & Robertson, J. (2000). Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. *Physical review B*, 61(20), 14095.
- [18] Schönfelder, R., Rummeli, M. H., Gruner, W., Löffler, M., Acker, J., Hoffmann, V., ... & Pichler, T. (2007). Purification-induced sidewall functionalization of magnetically pure single-walled carbon nanotubes. *Nanotechnology*, 18(37), 375601.
- [19] Bokobza, L., Bruneel, J. L., & Couzi, M. (2015). Raman spectra of carbon-based materials (from graphite to carbon black) and of some silicone composites. *C—Journal of Carbon Research*, 1(1), 77-94.
- [20] Tuinstra, F., & Koenig, J. L. (1970). Raman spectrum of graphite. *The Journal of chemical physics*, 53(3), 1126-1130.
- [21] Krishnamoorthy, K., Veerapandian, M., Yun, K., & Kim, S. J. (2013). The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation. *Carbon*, 53, 38-49.
- [22] Aliyev, E., Filiz, V., Khan, M. M., Lee, Y. J., Abetz, C., & Abetz, V. (2019). Structural characterization of graphene oxide: Surface functional groups and fractionated oxidative debris. *Nanomaterials*, 9(8), 1180.



Zemin Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Trendler

Asena Karslıoğlu^{1*}, Ahmet Ali Mert², Mehmet İnanç Onur³

^{1*}Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Eskişehir, Türkiye, (ORCID:0000-0001-5178-4069), asenakarslioglu@eskisehir.edu.tr

² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Eskişehir, Türkiye, (ORCID:0000-0001-9205-488X), ahmetalimert@utexas.edu

³ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Eskişehir, Türkiye, (ORCID:0000-0002-2421-4471), mionur@eskisehir.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012397)

ATIF/REFERENCE: Karlıoğlu, A., Mert, A. A. & Onur, M.İ (2021). Zemin Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Trendler. *European Journal of Science and Technology*, (28), 998-1007.

Öz

Zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin davranışının açıklanması geoteknik mühendisliğinin temellerini oluşturmaktadır. Zemin davranışına ilişkin teoriler 1900'lü yıllarda geliştirilmeye başlanmış, günümüzde ise yeni nesil yöntemler ile yeni bir aşamaya geçilmiştir. Yeni nesil nümerik metotlar ile en karmaşık koşullar altında zemin davranışı modellenilebilmektedir. Zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin davranışının açıklanması genel olarak deneysel çalışmalar ile bu çalışmalardan elde edilen verilen ampirik teorilerde kullanılması olarak yürümekteyken, günümüzde yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi uzman sistemler ile mevcut deneysel ekipmanların modifikasyonu ve geleneksel deney metodolojilerinin geliştirilmesi sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada geoteknik mühendisliğinde zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin davranışının açıklanmasına yönelik yeni nesil yöntemlerin tanıtılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin Mekaniği, Geoteknik mühendisliği, Yeni Trendler.

New Trends in Determining Soil Properties

Abstract

Determination of soil properties and explanation of soil behavior are the basis of geotechnical engineering. Theories on soil behavior are developed from the 1900s, and today, a new phase has been started with new generation methods. Soil behavior can be modeled under the most complex conditions with the new generation numerical methods. While the determination of soil properties and the explanation of soil behavior are generally used in experimental studies and empirical theories obtained from these studies, nowadays, expert systems such as artificial neural networks, fuzzy logic, modification of existing experimental equipment and development of traditional experimental methodologies are frequently used. In this study, it is aimed to introduce new generation methods for determining soil properties and explaining soil behavior in geotechnical engineering.

Keywords: Soil mechanics, Geotechnical engineering, New Trends.

* Corresponding Author: asenakarslioglu@eskisehir.edu.tr

1. Giriş

Zemin mekaniği ilkelerinin çeşitli yapılar için temellerin tasarımı ve inşasına uygulanması, temel mühendisliği olarak bilinmektedir. Geoteknik mühendisliğinin hem zemin mekaniğini hem de temel mühendisliğini içerdiği düşünülebilir. Aslında Terzhaği'ye göre zemin mekaniği ve temel mühendisliği arasında belirgin bir sınır çizgisi çizmek zordur; geoteknik mühendisliği, temel mühendisliğinin bittiği yerde başlar [1].

Geoteknik mühendisliğinde zemin davranışını modelleyen teoriler 1900'lü yıllarda geliştirilmeye başlanmış, günümüzde teorik zemin mekaniği ve temel mühendisliği yeterli olgunluğa ulaşmıştır. Zemin davranışını modelleyen nümerik metotlar ile en karmaşık yapı geometrisi ve zemin koşullarında yapı-zemin ilişkisini analiz edebilecek seviyeye ulaşılmıştır. Gerek teorik yaklaşımları gerekse nümerik metotları uygulayabilmek için en önemli aşama zeminin doğru modellenmesi, diğer bir deyişle zemin davranışını yansıtacak geoteknik parametrelerin gerçekçi olarak belirlenebilmesidir [2].

Geoteknik mühendisliği deneysel çalışmalar, teoriler ve uygulamalar olarak yürümekteyken, artık günümüzde yeni nesil metotların oluşmasıyla yeni bir sayfaya geçmiştir. Bu çalışmada kısaca bu yeni nesil yöntemlerin tanıtılması ve tartışılması amaçlanmıştır.

2. Literatür

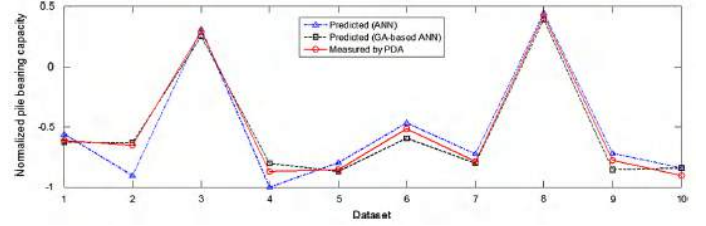
2.1. Uzman Sistemler Kullanarak Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Son yıllarda, zemin özelliklerinin tahmini ve zemin davranışının modellenmesi için makine öğrenmesi veya yapay zekâ yöntemleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Uzman sistemler kullanarak yapılan çalışmalar bu bölümde incelenmektedir.

Yapay Sinir Ağlarının (YSA) inşaat mühendisliğinde geoteknik dâhil uygulamaları artmıştır. Işık ve Özden (2013) hem kaba hem de ince taneli zeminlerin sıkıştırma parametrelerini tahmin etmek için YSA tahmin modellerini kullanmıştır. Standart Proctor enerjisinde toplam 200 zemin karışımı hazırlanıp sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma parametreleri, farklı girdi veri setleri kullanılarak YSA modelleri aracılığıyla tahmin edilmiştir. YSA tahmin modelleri, indeks özelliklerinden hangilerinin sıkıştırma parametreleriyle iyi ilişkili olduğunu bulmak için geliştirilmiştir. Geçiş ince içerik oranı (TFR), zemin indeksi parametrelerine ek olarak yeni bir girdi parametresi olarak tanımlanmıştır. Optimum su içeriği (Wopt) ve maksimum kuru birim ağırlık tahmininin, temel zemin indeksi parametreleri kullanılarak yüksek doğrulukla yapılabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, istenen tahmin doğruluğu ve genelleme yeteneği, verilerin uygun şekilde normalleştirilmesi ve bölünmesiyle elde edilebilmektedir. TFR parametresinin kullanılması YSA modellerinin Wopt tahminindeki performansını artırmaktadır [3].

Momeni vd. (2014) kazıkların taşıma kapasitesini tahmin etmek için genetik algoritma (GA) optimizasyon tekniği ile geliştirilmiş YSA tabanlı bir tahmin modeli geliştirmiştir. Modelin oluşturulması için gerekli veri setini sağlamak amacıyla prekast beton kazıklarda 50 dinamik yük testi yapılmıştır. Kazık geometrik özellikleri, kazık seti, çekiç ağırlığı ve düşme yüksekliği ağ girdileri olarak ayarlanmış ve kazık nihai taşıma kapasitesi, GA tabanlı YSA modelinin çıktısı olarak ayarlanmıştır. Sonuçta, GA tabanlı YSA modelinin kazık taşıma kapasitesinin

tahmin edilmesinde geleneksel YSA modelinden daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur [4].

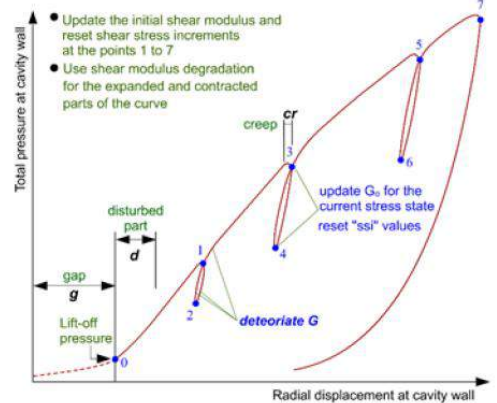


Şekil 1. Kazık taşıma kapasitesinin GA tabanlı YSA ve YSA tahmin modellerinin performansı [4]

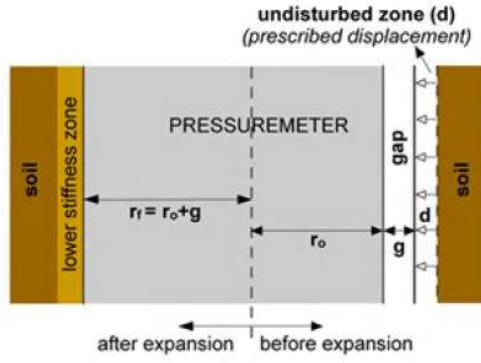
Diaz vd. (2018) bir temelin altındaki eğimli ana kaya tarafından sınırlandırılan sonlu bir elastik yarı alanın etkisini dikkate alan etki faktörünün (Ia) belirlenmesini iyileştirmek için sinir ağlarını kullanmaktadır. YSA'nın eğimli bir rijit tabaka ile sonlu bir yarı uzayda oturan temellerin oturmasını doğru bir şekilde tahmin edebildiği doğrulanmıştır. Ayrıca YSA yönteminin geleneksel analitik regresyon yöntemlerinden daha iyi sonuçlar sağlayabileceğini de ortaya koymuştur [5].

Tran vd. (2018) zemin karakterizasyonlarındaki varyasyonları gerçekleştirmek için önerilen bir prosedür geliştirmiştir. Sabit zemin özellikleri ve profili kullanmak yerine, girdi verileri olarak sönümlenme (MRD) eğrilerinin belirsizliklerini, katman kalınlığını ve kayma dalgası hızını (Vs) kullanmaktadır. Yapılan analizlerin sonuçları, doğrusal olmayan zemin özelliklerindeki değişikliklerin medyan yüzey tepki spektrumu ve yüzey hareketlerinin büyütme spektrumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir [6].

Öztoprak vd. (2018) üç boyutlu sonlu farklar kodu FLAC3D'de benimsenen sertliğe dayalı bir yaklaşım aracılığıyla presiyometre testinin tam eğrisini yakalamak için sayısal bir metodoloji önermektedir. Bunu sağlamak için, Mohr-Coulomb zemin modelinin pik dayanımından önce geleneksel doğrusal elastik modelin yerini almak üzere yeni bir hiperbolik model kullanılmış ve kayma modülünün güncellenmesi düşünülmüştür. Sunulan modelleme yaklaşımı ve uygulanan kurucu model etkileyici bir şekilde başarılıdır. Kumları karakterize etmek için tüm parametrelerin elde edilmesini sağlar ve geoteknik yapıların çoğunu modellemek için umut verici görünmektedir. Önerilen yaklaşımı uygulamak için en az iki döngü gereklidir. Daha fazla döngü, daha iyi zemin karakterizasyonu belirlemektedir [7].



(a) FLAC3D'de modelleme adımlarının sunumu

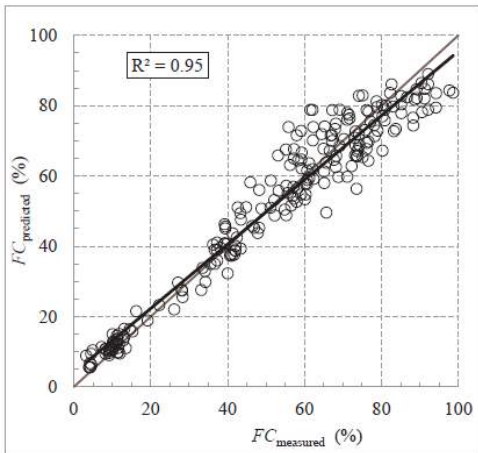


(b) Parametrelerin tanımlanması

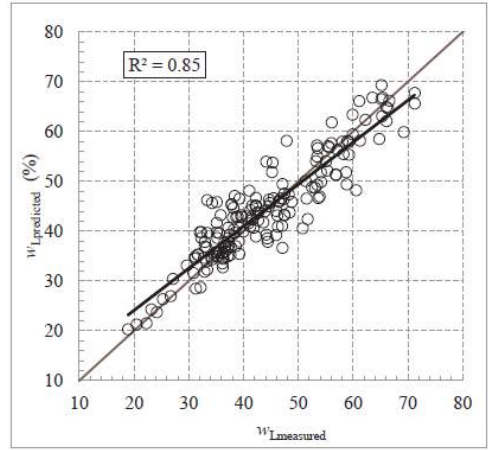
Şekil 2. Presiyometre testinin modellenmesi [7]

Zeminin kayma mukavemeti, geoteknik yapıların tasarım ve denetiminde kullanılan önemli bir mühendislik parametresidir. Pham vd. (2018) dört makine öğrenme yönteminin performansını araştırmayı ve karşılaştırmayı amaçlamıştır. Parçacık Sürüşü Optimizasyonu - Uyarlanabilir Ağ tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (PANFIS), Genetik Algoritma - Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (GANFIS), Destek Vektör Regresyonu (SVR) ve YSA yumuşak zeminlerin kayma dayanımını tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu amaçla, modellerin oluşturulması ve doğrulanması için eğitim ve test veri setlerinin oluşturulması için 188 plastik killi zemin örneği kullanılmıştır. Dört modelden PANFIS'in yumuşak zeminlerin mukavemetini tahmin etmek için en uygun bir teknik gösterdiği sonucuna varılabilir [8].

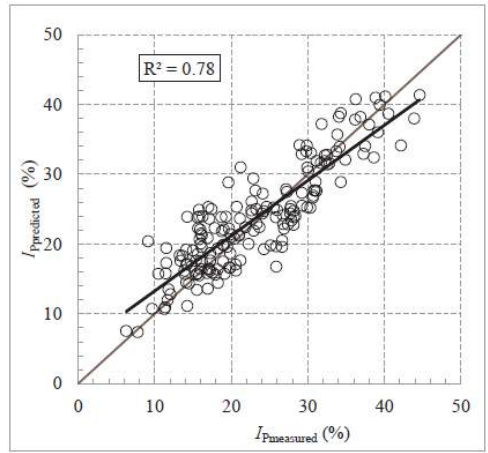
Zemin sınıflandırması, yük altında benzer mühendislik davranışı sergileyecek ortak özelliklere göre zeminleri kategorilere ayırmanın bir yoludur. Ayrıca, temel tasarımından önce gerçekleştirilmesi gereken önemli, maliyetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Reale vd. (2018), ESCS (Avrupa Zemin Sınıflandırma Sistemi) ve USCS (Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi) zemin sınıflandırmalarını otomatik olarak belirlemek için YSA uygulamasını incelemektedir. YSA, zemindeki ince parçacıkların yüzdesini ve LL ile ona karşılık gelen plastisite indeksini tahmin ederek zeminin kıvamını belirlemek için geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, hem ESCS hem de USCS zeminlerin yaklaşık % 90'ını doğru bir şekilde sınıflandırmıştır. YSA kullanımı hem zamandan hem de paradan tasarruf edilerek inşaat sürecini kolaylaştırmaktadır [9].



(c) Plastisite İndeksi



(b) Likit Limit

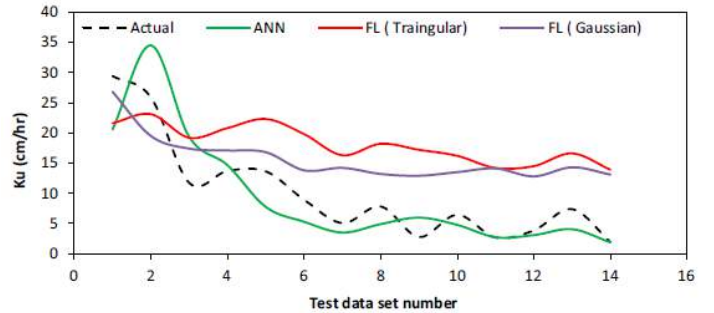


(a) İncelik Yüzdesi

(c) Plastisite İndeksi

Şekil 3. YSA ve laboratuvarında ölçümler [9]

Sihag (2018) zeminin (Ku) doymamış hidrolik iletkenliğini tahmin etmek için bulanık mantık (FL) ve YSA tabanlı modeller geliştirmiştir. Rastgele seçilen modellemede eğitim için verilerin %70'i, test için verilerin %30'u kullanılmıştır. Çalışmadan, her iki yaklaşımın da bu veri setiyle iyi çalıştığı sonucuna varılmıştır. Performans değerlendirme parametrelerinin karşılaştırılmasından YSA yaklaşımının FL yaklaşımlarına göre iyi çalıştığı görülmüştür [10].

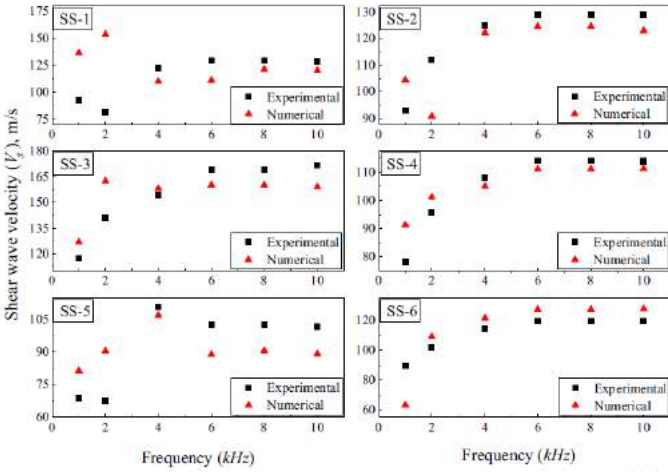


Şekil 4. Ku'nun gerçek değerlerine kıyasla farklı yaklaşımlar kullanarak Ku değerlerinde değişim [10]

Azadmard vd. (2020) neredeyse doymuş zemin hidrolik özelliklerinin tahmini için çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve hibrit GA yönteminin YSA ile etkinliğini karşılaştırmak için bir çalışma yapmıştır. MLR analizinin sonuçları, bu yöntemin çalışma alanında neredeyse doymuş zemin hidrolik özelliklerini tahmin etme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. MLR

modellerine kıyasla GA-YSA modellerinin daha yüksek performansı, zeminin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile hidrolik özellikler arasında doğrusal olmayan ilişkilerin varlığını doğrulamıştır [11].

Literatürde, Bender elemanı (BE) test simülasyonunun sayısal analizine daha az odaklanılmıştır. Ingale vd. (2020) yaptığı çalışmada sayısal simülasyondan ve deneylerden elde edilen sonuçların analiz edilmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla, USCS'ye göre altı farklı sınıflandırılmış zemin numuneleri seçilmiş ve farklı sıkıştırma durumlarına göre kalıplanmıştır. BE testleri sonucunda kayma dalgası hızı (V_s) deneysel olarak belirlenmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı sayısal bir kod AbaqusTM yardımı ile sayısal simülasyon yapılmıştır. Bu araştırmadaki FE analizinin amacı, numune geometrisinin, sınır koşullarının ve giriş frekansının laboratuvar BE sonuçlarına kıyasla farklı malzeme modelleri üzerindeki etkisini araştırarak doğru bir yaklaşıma ulaşmaktır. FE analizi, belirli bir frekansın ötesinde deneysel olarak elde edilenle makul ölçüde aynı S-dalgası hızlarını vermektedir. Dolayısıyla, FE modelinin BE testini yeniden üretebildiği söylenebilmektedir [12].

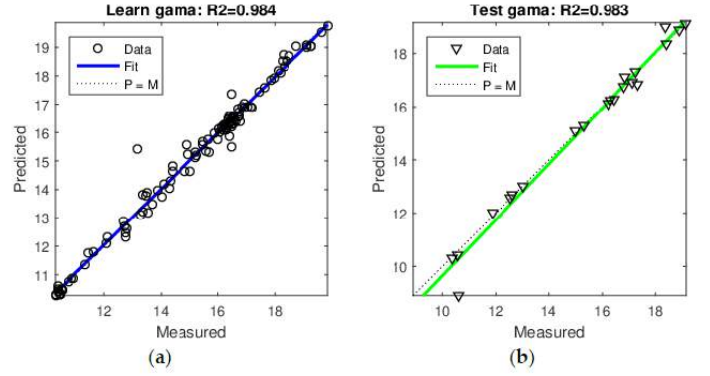


Şekil 5. Farklı zemin örnekleri için giriş frekansıyla kayma dalgası hızındaki değişimi [12]

Adab vd. (2020) yaptıkları çalışmada, pratikte farklı arazi kullanımına göre yüzeye yakın (5 cm) zemin nemini tahmin etmek için dört farklı hızlı doğrusal olmayan veri odaklı model oluşturmuştur. Landsat 8'in optik ve termal sensörleri tarafından zemin nemi geri kazanımı için rastgele orman (RF), destek vektör makinesi (SVM), YSA ve elastik ağ regresyon (EN) algoritmaları uygulanmıştır. İstatistiksel karşılaştırmalar, RF yönteminin, farklı arazi kullanım türleri tarafından kapsanan zemin nemini ölçmek için en yüksek Nash-Sutcliffe verimlilik değerini (0.73) sağladığını göstermektedir. Modellemelerden elde edilen sonuçlar, saha verilerinden elde edilen ölçümlerle karşılaştırılmış ve RF modelinin, zemin nem tahmini için diğer üç yöntemden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [13].

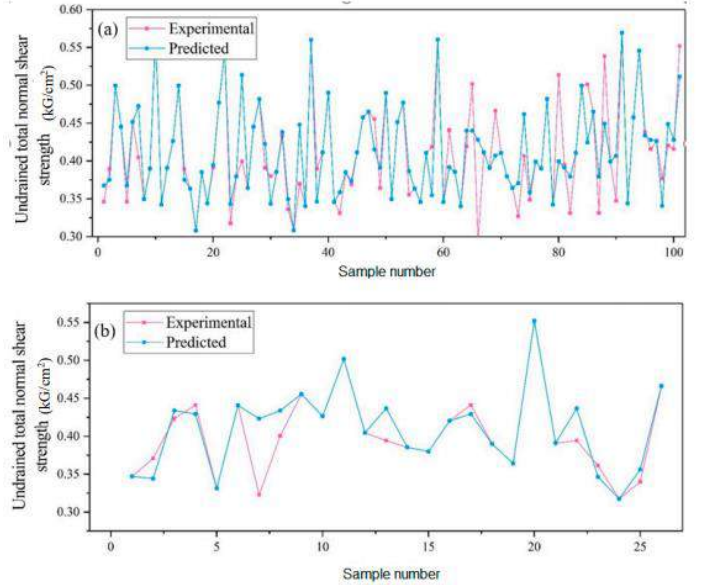
Zeminin birim ağırlığının (BA) tahmini laboratuvar yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Özellikle BA'nın organik zeminlerde elde edilmesi son derece zor, zaman alıcı ve pahalı olan, örselenmemiş yapılaraya sahip numuneler şeklinde yüksek kaliteli araştırma malzemesi gerektirmektedir. Straz ve Borowiec (2020) makalede, organik zeminlerin birim ağırlığını tahmin etmek için YSA kullanmayı önermiştir. Alt zeminin ilk tanınması mekanik bir koni penetrasyon testi (CPTM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Standart çok katmanlı geri yayılım ağları, iki

ana değişkene (organik içerik LOIT ve doğal su içeriği w) dayalı olarak BA tahmin etmek için kullanılmıştır. Uygulanan modelin, standart regresyon yöntemleriyle karşılaştırılabilir güvenilir tahmin sonuçları sağladığı belirtilmiştir [14].



Şekil 6. Zemin BA'nın YSA tahmini (LOIT, w): (a) eğitim verileri ve (b) test verileri [14]

Pham vd. (2020) zeminin drenajsız kesme dayanımını tahmin etmek için rastgele orman (RF) ve parçacık sürü optimizasyon (PSO) modellerinin bir kombinasyonu olan yeni bir hibrit makine öğrenmesi olan RF-PSO modelini önermiştir. Bu model zeminin kil içeriğine, nem içeriğine, özgül ağırlığa, boşluk oranına, likit limite ve plastik limite dayalı olarak zeminin kesme dayanımını tahmin etmek için kullanılmıştır. Önerilen hibrit modelin (RF-PSO) zeminin kesme dayanımını tahmininde yüksek bir doğruluk performansı ($R = 0.89$) elde ettiği bulunmuştur [15].



Şekil 7. Deneysel ve tahmin edilen kesme dayanımı değerleri: (a) eğitim seti, (b) test seti [15]

2.2. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Nesil Deneysel Sistemlerinin Kullanılması

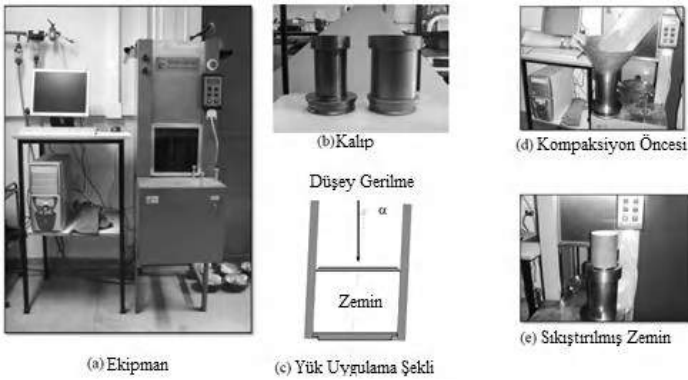
Zemin özelliklerinin ve zemin davranışının belirlenmesi için geçmişten beri çeşitli deney aletleri tasarlanarak kullanılmıştır. Geleneksel deney aletlerinin çeşitli modifikasyonlarla geliştirilerek kullanımı veya yeni üretilen deney sistemleri bu bölümde incelenmektedir.

Kayabalı vd. (2016) likit limit (LL) ve plastik limit (PL) değerlerini tek bir cihazda birleştirmek için, Çamur Baskı Yöntemi (Mud Press Method = MPM) adı verilen ekipman geliştirmiştir. MPM'den elde edilen bulguları doğrulamak için geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Toplamda LL = 28 - 166 arasında değişen 275 zemin örneği hazırlanıp incelenmiştir. MPM yönteminden elde edilen log(a) ve 1/b parametreleri, geleneksel yöntemlerin sonuçlarıyla ilişkilendirilmiştir. Yeni yaklaşımın, 1 saat gibi kısa sürede gereken verilerin elde edilmesi ve operatör bağımlılığını en aza indirmesi gibi çeşitli açılardan geleneksel yöntemlerden üstün olduğu belirtilmiştir [16].



Şekil 8. Çamur Baskı Makinesi (Mud Press Machine) [16]

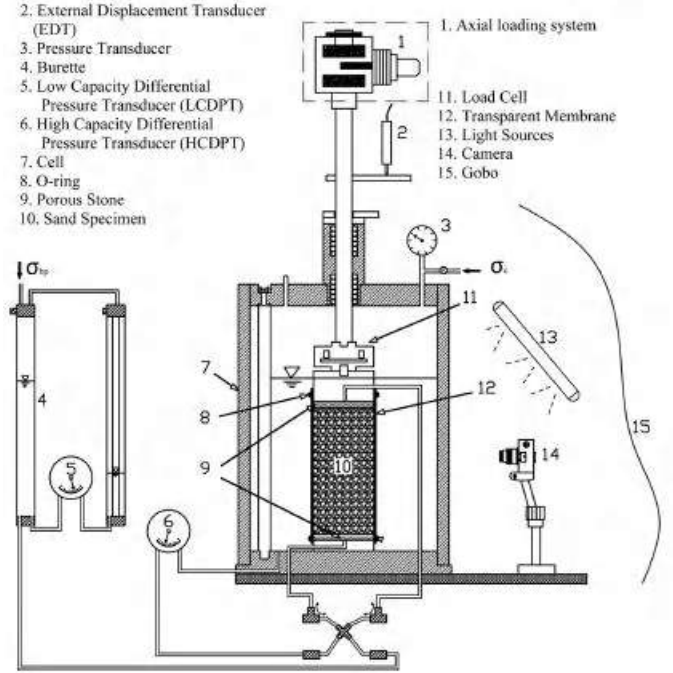
Superpave yağurmalı sıkıştırıcı (SGS), diğer sıkıştırma yöntemlerine göre daha etkili, doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar göstermektedir. Bazı araştırmacılar, SGS'nin saha koşullarına daha benzer olduğunu öne sürmüştür. Dantas vd. (2016) maksimum kuru yoğunluklar karşılaştırılarak Proctor ve SGS yöntemi arasında bir benzerliğe ulaşmaya çalışmıştır. Killi zemin, Brezilya standardına (NBR 7182/1986) göre üç farklı enerjide Proctor testine tabi tutulmuştur. SGS ekipmanı aynı zamanda zemini sıkıştırmak için de kullanılabilir. Ayrıca, SGS'deki prosedür umut vericidir, çünkü optimum parametreler normal ve orta Proctor enerjisine eşdeğer veya daha üstündür [17].



Şekil 9. Superpave yağurmalı sıkıştırıcıda sıkıştırma şeması [17]

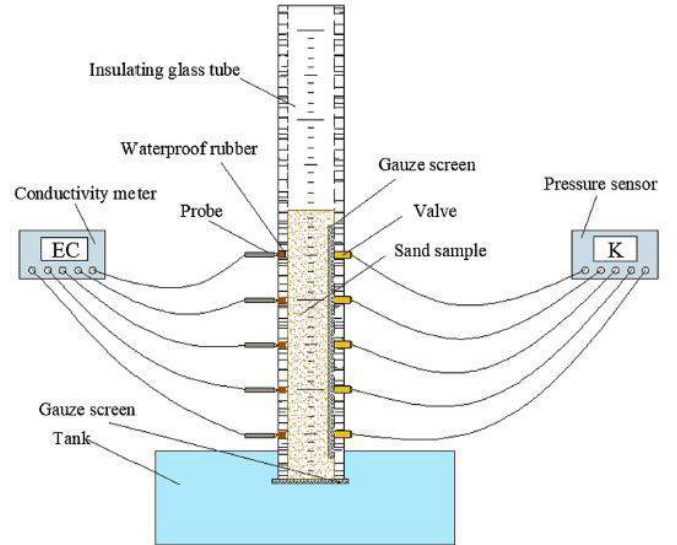
Zhao vd. (2018) beyaz ve siyah renklerde silis kumu partiküllerinin bir karışımı ile hazırlanan numunelerin yerel deformasyon özelliklerini doğrudan ve dolaylı drenajsız üç eksenli testte değerlendirmek için, şeffaf bir membran kullanılarak Partikül Görüntü Velosimetrisine dayalı bir prosedür geliştirilmiştir. Doğrudan ve dolaylı arasındaki karşılaştırma, bitişik kum parçacığına göre membran üzerindeki bir noktanın konumunun sıvılaşmanın başlamasından sonra sabit kalmadığını ortaya koymuştur. Dikey kaymanın değeri, aşırı gözenek suyu

basıncı, özellikle büyük bir eksenel gerilme koşulu altında, başlangıçtaki etkili gerilime eşit olduğunda önemli ölçüde artmıştır [18].



Şekil 10. Üç eksenli deney düzeneğinin şematik diyagramı [18]

Lu vd. (2019), hidrolik iletkenlik (K) ile elektriksel iletkenlik (EC) arasındaki nicel ilişkiyi kurarak, zemin K'sını tahmin etmek için uygun bir yaklaşım sağlamaya çalışmıştır. Deneysel çalışma, sayısal analiz ve model karşılaştırması yapılmıştır. Deneysel üç faktörün (partikül boyutu, zemin sıkıştırma derecesi ve sıvı (NaCl çözeltisi) konsantrasyonu) K üzerindeki etkileri test edilmiştir. Karşılaştırma EC'yi kullanarak hızlı bir K tahmini sağlayan modellerin, klasik tane boyutu tabanlı formüllerin çoğundan daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir [19].



Şekil 11. Zemin hidrolik iletkenliğini ölçmek için tasarlanmış cihaz [19]

Alkayış (2019) yaptığı çalışmada zemin problemleri üzerinde deneyler yapabilmek için laboratuvar ölçekli geoteknik santrifüj deney aleti geliştirmiştir. Deney aleti, bir döndürme kolunun ucundaki model zeminini döndürerek zeminin kendi ağırlık

gerilmeleri oluşturulması üzerinde ortaya çıkmıştır. Bu deney sistemi ile tanımlanan ölçek faktörlerine göre küçük modellerin gerçek modelleri büyük ölçüde temsil edildiği vurgulanmaktadır. Deney aleti ile konsolidasyon süreci incelenmiş olup, sistemin 1-D ödometre sonuçlarından elde edilen sonuçların, model üzerindeki teorik konsolidasyon süreci ile Santrifüj konsolidasyon uygunluğu kontrol edilmiştir. Sonuç olarak deney sisteminin konsolidasyon sürecine uygunluğu deney aletinin kalibrasyonu için yeterli görülmüştür. Ayrıca rijit temel altındaki tek ve tabakalı zeminlerin oturma davranışı incelenmiş ve literatür ile karşılaştırılmıştır [20].

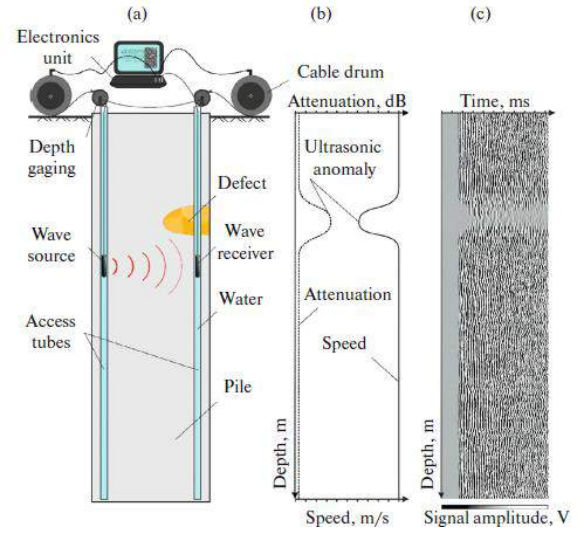


Şekil 12. Laboratuvar Ölçekli Geoteknik Santrifüj [20]

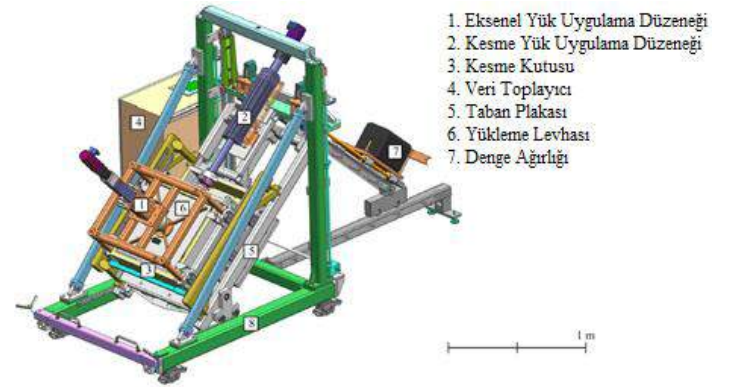
Kucerik vd. (2020) laboratuvar koşullarında termogravimetri kullanılarak zemin özelliklerini belirlenmeyi amaçlamıştır. Sonuç olarak, geoteknikte termogravimetri yaklaşımlarının rutin uygulaması için, termogravimetri verileri ve zemin özellikleri arasındaki ilişkileri modellerken teşhis sıcaklıklarındaki olası değişiklikleri hesaba katan bir bağıl nem parametresinin dâhil edilmesi gerektiğini göstermiştir [21].

Kazık bütünlüğünün ultrasonik izlenmesi, sensörler kullanılarak kazık gövdesinde uyarılan ve kaydedilen elastik dalgaların parametrelerinin analizine dayanmaktadır. Lozovsky vd. (2020) COMSOL Multiphysics yazılımında ultrasonik verilerin yorumlanmasına yönelik yaklaşımları açıklığa kavuşturmak için elastik dalgaların yayılmasının sayısal simülasyonu gerçekleştirmiştir. Ultrasonik dalgaların yayılma hızı değerlerinin kazığın dayanım değerlerine çevrilmesinin yanlış olduğu sonucuna varılmıştır [22].

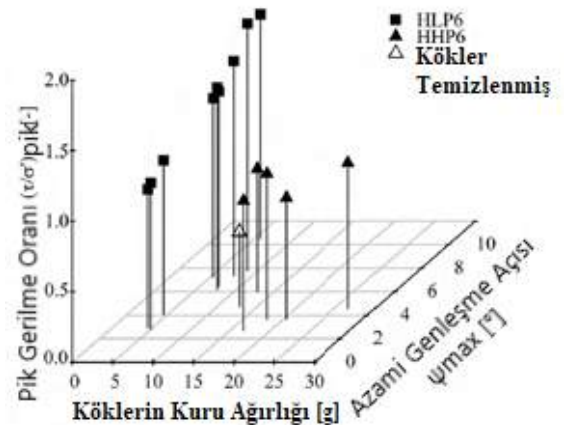
Yıldız vd. (2018), bitki kökü içeren (root-permeated) zeminlerde kesme davranışını belirlemek için yeni oluşturulmuş büyük ölçekli meyilli direkt kesme aparatı (ILDSA) kullanarak, köklerin kuru ağırlığı ile pik gerilme oranı ve azami genişleme açısı ile boşluk oranı ilişkilerinin incelenmesi sonucu kök içeren zemin davranışını araştırmıştır. Köklerin karmaşık yapısı ve zemin davranışının farklı etkenlerden etkilenmesi nedeniyle, basit bir değerlendirme yapmanın zorluğu nedeniyle, en azından laboratuvar ortamında, kök varlığı ve genişleme davranışını dikkate alan bu birleşik yaklaşımın, kök güçlendirmesi etkilerinin miktarının belirlenmesinde daha gerçekçi sonuçlar doğuracağı açıklanmıştır [23].



Şekil 13. Ultrasonik kazık bütünlük testi: (a) test tasarımı, (b) yayılma hızı ve ultrasonik dalgaların zayıflaması grafikleri; (c) ölçüm profiline kaydedilen tüm sinyallerden oluşan sismogram [22]



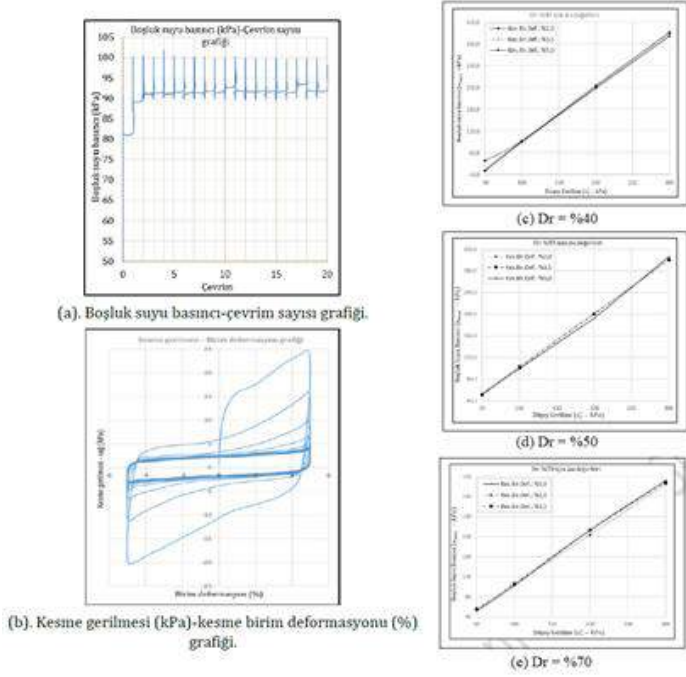
Şekil 14. Büyük Ölçekli Meyilli Direkt Kesme Aparatının (ILDSA) Üç Boyutlu Çizimi [23]



Şekil 15. Tüm Deneyler için Üç Boyutlu Pik Gerilme Oranı, Köklerin Kuru Ağırlığı ve Azami Genişleme Açısı [23]

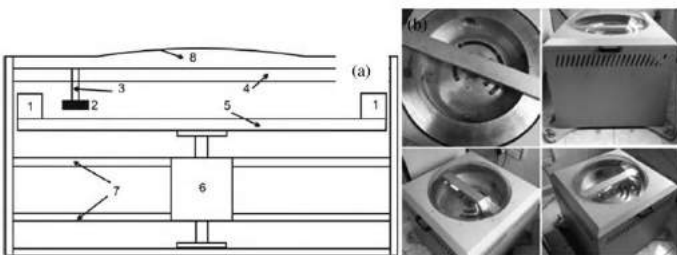
Beyaz vd. (2020), kesme birim deformasyonu ve rölatif sıklığın, temiz ince deniz kumunda, kumların sıvılaşma enerjisinin belirlenmesine etkisini, daha önce kullanılmayan bir Devirsel Basit Kesme Düzeneği (DBKD) kullanarak incelemiştir. Cihazın yaygın olarak kullanılan ve sadece düşey yönde tekrarlı yük uygulayabilen cihazlardan farkı, düşeyde dinamik yük ve

Yapılan 36 deney sonucunda, sıvılaştırma potansiyelinde, kesme birim deformasyon oranındaki artış sonucu %3'lük bir azalma meydana gelirken, artan rölatif sıklığın, kumda kesme direncini artırdığı, sonuç olarak da devir sayısında artış ve sıvılaştırmada gecikme gözlemlenmiştir [24].



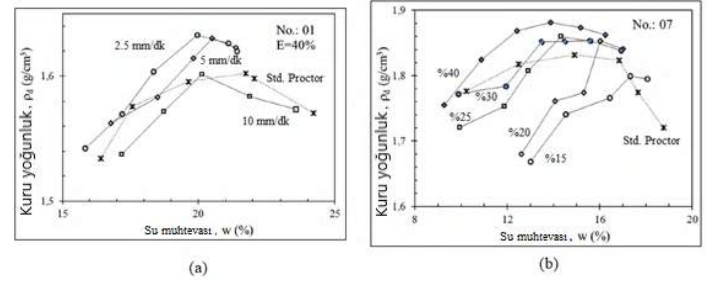
Şekil 16. (a) ve (b) DBKD'den Elde Edilen Grafik Örnekleri. (c), (d) ve (e) Farklı Rölatif Sıklıktaki Kumların, Farklı Kesme Birim Deformasyon Oranında Boşluk Suyu Basıncı Grafikleri [24]

Genel olarak, konsolidasyon parametreleri laboratuvaroda ödometre deneyleri ile yerçekimi şartlarında (1g) gerçekleştirilmekle birlikte, bu süreç uzun zaman almaktadır. Her ne kadar bu süreyi azaltmak için statik yaklaşıma alternatif olarak daha yüksek ivmeli dinamik yaklaşımlar geliştirilmiş olsa da bu yöntemler pahalı ve çok büyük santrifüjlere gereksinim duymaktadır. Dahası, bu santrifüjler, uygulamadan ziyade araştırma odaklıdır. Bu nedenlerle Balcı vd. (2018), çok küçük boyutlu (minyatür) bir santrifüj cihazının konsolidasyon deneylerine uygulanabilirliğini ele almıştır. Sonuç olarak bu düzeneğin, deney süresini birkaç saate düşürdüğü, kullanılan yeni bir parametre ile (Wce: Santrifüj yükü) örselenmemiş numuneler için geleneksel konsolidasyon deney sonuçları ile ilişkilendirmenin sağlandığı ve bakır sıkıştırma çizgisinin yüksek kesinlik, ön konsolidasyon basıncının ise orta kesinlik ile belirlenebildiği ve doğal numunelere uygulandığında da ümit vadettiği belirtilmiştir [25].

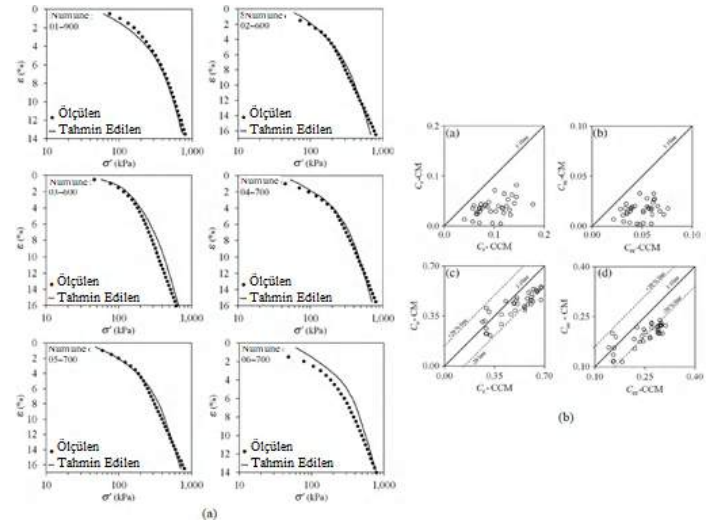


Şekil 17. Araştırmada Kullanılan Minyatür Santrifüj Cihazı (a) Enkesit (b) Genel Görünüm [25]

Mekanik stabilizasyonla zemin iyileştirme sıklıkla, çukurlardan alınan önemli miktarda zemin gerektiren standart Proctor deneyi kullanılarak uygulanmaktadır. Statik kompaksiyon ise alternatif bir laboratuvar deneyidir. Araştırmacılar minyatür boyutlardaki statik kompaksiyon deneylerinin azami kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası yönünden standart Proctor deneyi ile kıyaslanabileceğini göstermiş olsalar da drenajsız kayma mukavemeti ve hidrolik iletkenlik gibi sıkışmış zeminin iki esas özelliği konusunda çalışılmamıştır. Kayabalı vd. (2020), (1) standart Proctor deneyindeki benzer sıkıştırma eğrilerini elde etmek, (2) optimum su muhtevasında standart Proctor ve statik kompaksiyon deneyleri ile sıkışmış zeminleri yeniden oluşturmak ve (3) sıkışmış zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti ve hidrolik iletkenliklerini kıyaslamak için gerekli statik kompaksiyon enerjisi seviyesini tahmin edebilmek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak statik kompaksiyon ile, standart Proctor için gereken enerjinin yaklaşık %40'ı, gereken zemin hacminin ise sadece yaklaşık %10'u kullanılarak kıyaslanabilir hidrolik iletkenlik ve drenajsız kayma mukavemeti değerleri elde edildiği belirtilmiştir [26].



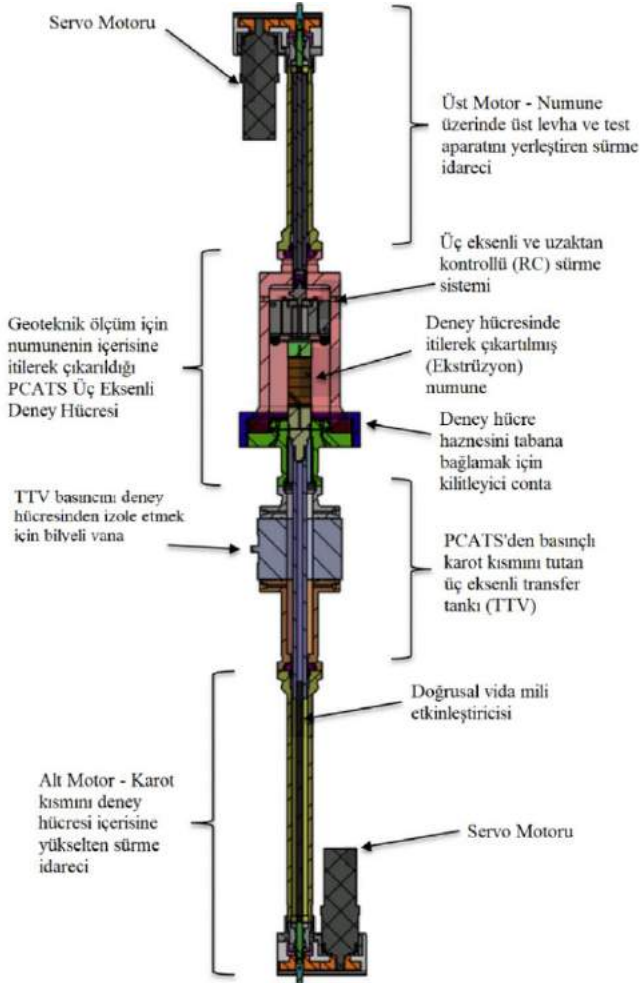
Şekil 18. a) Standart Proctor ve 2.5, 5 ve 10 mm/dk Gerinim Hızı ile Elde Edilmiş Statik Kompaksiyon Eğrileri, (b) Standart Proctor ve Standart Proctor Enerjisinin %15'i, %20'si, %25'i, %30'u ve %40'ı için Elde Edilmiş Statik Kompaksiyon Eğrileri [26]



Şekil 19. (a) Ölçülen ve Tahmin Edilen Efektif Gerilmeler, (b) Laboratuvarda Hazırlanan Numunelerde Santrifüj Konsolidasyonu (CCM) ve Geleneksel Konsolidasyon (CM) Yöntemleriyle Elde Edilmiş Sıkıştırma İndisleri Karşılaştırması [26]

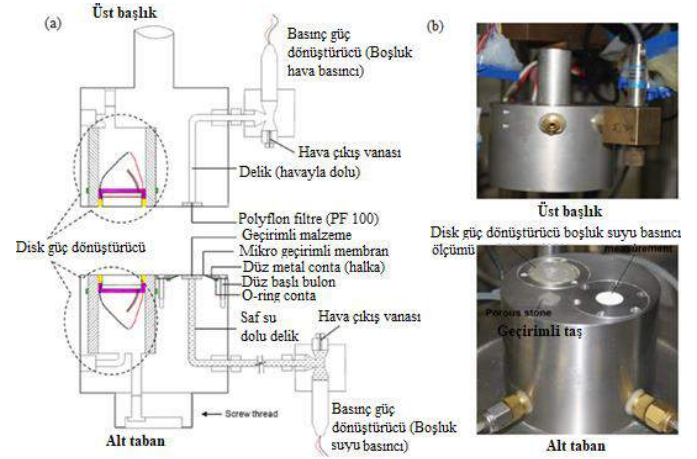
Hidrat içeren sedimentlerin fiziksel doğası ve mekanik davranışlarının anlaşılması, metan gaz hidrat kaynaklarının potansiyellerinin belirlenebilmesi için büyük önem arz etmektedir. Basıncılı karot alma teknikleri ve işleme ekipmanları, bozulmamış (örselenmemiş) numunelerin, yerinde maruz

kaldıkları basınçlar altında alınabilmesine olanak sağlamış olsa da bu numunelerin arazi basınç şartları altında testleri mümkün olmamıştır. Priest vd. (2014), bu sorunun üstesinden gelebilmek için, söz konusu bu numunelerin fiziksel ölçümlerinin gerçekleştirilebilmesi için PCATS Üç Eksenli Aparatı'nı geliştirmiş, bu aparatla belirli sayıda basınçlı karot alt numunesi elde ederek başarılı bir şekilde test etmiş, rezonans deneylerinden küçük gerinim rijitliği, üç eksenli kayma testlerinden gerilme-gerinim özellikleri ve permeabilite gibi birtakım geomekanik özellikleri belirlemiştir. Deneyler sonucunda, rijitlik ve drenajsız kayma mukavemetinin, artan dane büyüklüğü, hidrat doygunluğu ve uygulanan efektif gerilme ile arttığı, hidrat içeren kumlarda, hidratsız killere kıyasla permeabilitenin önemli ölçüde azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır [27].



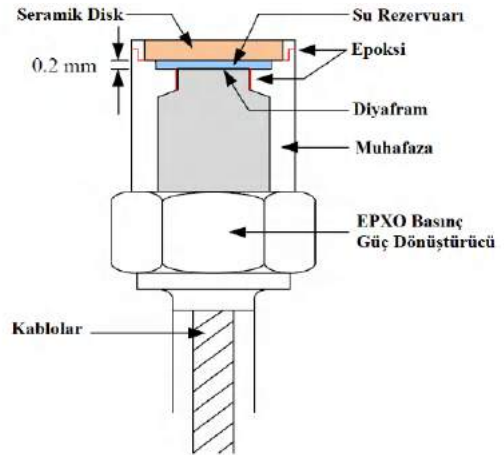
Şekil 20. PCATS Üç Eksenli Aparatı Bütün Görünümü [27]

Suwal ve Kuwano (2018), elastik dalga ölçümü için yeni geliştirilen bir teknik ile bir disk güç dönüştürücü yöntem ve emme ölçümü için bir basınçlı membran tekniğini, silindirik bir numunenin hem matrik emmesi hem de elastik dalgalarının teminini sağlayan modifiye edilmiş bir üç eksenli aparatında birleştirmiştir. Aparat, kumlu zeminde 100 kPa'dan az düşük emme aralığında emme değişimini değerlendirmek için oluşturulmuştur. Hem sıkışma hem de kayma dalgaları, ilgili matrik emme ile birlikte ölçülmüştür. Matrik emme, numunelere su enjeksiyonu ile çeşitlendirilmiş ve ilgili elastik dalga hızları disk güç dönüştürücü ile bulunmuştur. Bu çalışma, disk güç dönüştürücü yönteminin doymayan zemin numunelerine uygulanabilirliğini ve düşük aralıkta emme gösteren kumlu zeminlerin mekanik davranışı üzerine matrik emmenin etkilerini desteklemektedir [28].

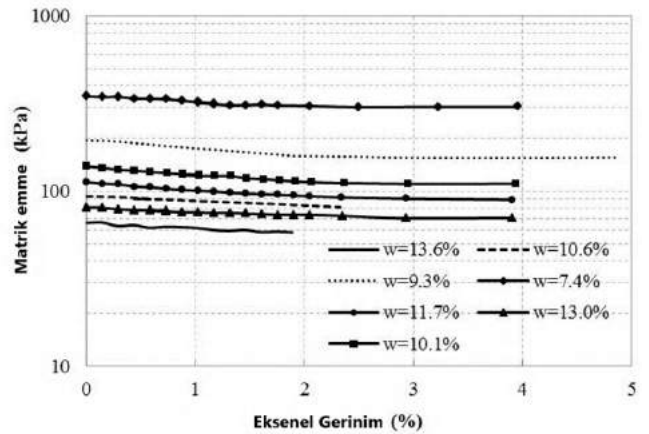


Şekil 21. (a) Matrik Emme ve Elastik Dalga Ölçüm Düzenegi Gösterimi, (b) Üst Başlık ve Alt Taban Fotoğrafı [28]

Li ve Zhang (2014), doymayan zeminlerde matrik emmenin laboratuvarında tespiti amacıyla ticari basınç güç dönüştürücüler için iki yeni yüksek emmeli gerilimölçer (tansiyometre) tasarlamış ve üretmiştir. Yapılan serbest buharlaşma deneyleri sonucu azami ulaşılabilir emmenin yaklaşık 1100 kPa olduğu görülmüştür. Mevcut yüksek emmeli tansiyometrelere kıyasla, yeni geliştirilen cihazların sağlam ve doymayan zeminlerde matrik emme ölçümü için güvenilir olduğu görülmüştür [29].



Şekil 22. Geliştirilen Tansiyometrenin Şematik Gösterimi [29]



Şekil 23. Serbest Basınç Deneyi Esnasında Farklı Su Muhtevalarına Sahip Zemin Örneklerinde Matrik Emme Ölçüm Sonuçları [29]

3. Tartışma

Son yıllarda, zemin özellikleri ve zemin davranışı tahmin modelleri oluşturulmasında makine öğrenmesi veya yapay zekâ yöntemleri gibi uzman sistemler kullanımı yaygınlaşmıştır. Uzman sistemler kullanarak zemin özellikleri başarılı bir şekilde tahmin edildiği literatürde görülmektedir. Zemin özellikleri ve zemin davranışının belirlenmesi için geleneksel deney aletlerinin çeşitli modifikasyonlarda geliştirilerek kullanımı veya yeni üretilen deney sistemleri tasarımına günümüzde sıkça rastlanılmaktadır. Bu yeni nesil deney sistemleri ile başarılı çalışmalar yapıldığı literatürde yer bulmaya başlamıştır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada geoteknik mühendisliğinde zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin davranışının açıklanmasına yönelik yeni nesil yöntemlerin tanıtılması amaçlanmıştır. Zemin özelliklerinin belirlenmesi ve zemin davranışının açıklanması için günümüzde yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi uzman sistemler sıkça kullanılmaktadır. Yapay sinir ağlarının geleneksel regresyon yöntemlerine göre avantajlı bir yöntem olduğu vurgulanmalıdır, yani model bir kez eğitilip test edildikten sonra, belirlenen koşullar altında yerleşimlerin tahmini için doğru ve hızlı bir araç olarak kullanılabilir. Diğer yandan mevcut deneysel ekipmanların modifikasyonu ve geleneksel deney metodolojilerinin geliştirilmesi de çalışmalarda artış göstermiştir. Bu aletler ile deney sürelerinin kısalması ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi mümkün hale gelmiştir. Geoteknik mühendisliğinde yeni nesil trendlerin kullanımı ile yeni bir safhaya geçildiği düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Yazar Asena KARSLIOĞLU Tübitak Bideb 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Bursu ve YÖK 100/2000 Doktora Bursu ile desteklenmesinden dolayı ilgililere teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Venkatramaiah, C. (1995). Geotechnical engineering. New Age International.
- [2] Erol, A. O., & Çekinmez, Z. (2014). Geoteknik mühendisliğinde saha deneyleri. Yüksel Proje Yayınları.
- [3] Isik, F., & Ozden, G. (2013). Estimating compaction parameters of fine-and coarse-grained soils by means of artificial neural networks. Environmental earth sciences, 69(7), 2287-2297.
- [4] Momeni, E., Nazir, R., Armaghani, D. J., & Maizir, H. (2014). Prediction of pile bearing capacity using a hybrid genetic algorithm-based ANN. Measurement, 57, 122-131.
- [5] Díaz, E., Brotons, V., & Tomás, R. (2018). Use of artificial neural networks to predict 3-D elastic settlement of foundations on soils with inclined bedrock. Soils and Foundations, 58(6), 1414-1422.
- [6] Tran, T. T., Han, S. R., & Kim, D. (2018). Effect of probabilistic variation in soil properties and profile of site response. Soils and Foundations, 58(6), 1339-1349.
- [7] Oztoprak, S., Sargin, S., Uyar, H. K., & Bozbey, I. (2018). Modeling of pressuremeter tests to characterize the sands. Geomechanics and Engineering, 14(6), 509-517.

- [8] Pham, B. T., Hoang, T. A., Nguyen, D. M., & Bui, D. T. (2018). Prediction of shear strength of soft soil using machine learning methods. Catena, 166, 181-191.
- [9] Reale, C., Gavin, K., Librić, L., & Jurić-Kačunić, D. (2018). Automatic classification of fine-grained soils using CPT measurements and Artificial Neural Networks. Advanced Engineering Informatics, 36, 207-215.
- [10] Sihag, P. (2018). Prediction of unsaturated hydraulic conductivity using fuzzy logic and artificial neural network. Modeling Earth Systems and Environment, 4(1), 189-198.
- [11] Azadmard, B., Mosaddeghi, M. R., Ayoubi, S., Chavoshi, E., & Raof, M. (2020). Estimation of near-saturated soil hydraulic properties using hybrid genetic algorithm-artificial neural network. Ecohydrology & Hydrobiology, 20(3), 437-449.
- [12] Ingale, R., Patel, A., & Mandal, A. (2020). Numerical modelling of bender element test in soils. Measurement, 152, 107310.
- [13] Adab, H., Morbidelli, R., Saltalippi, C., Moradian, M., & Ghalhari, G. A. F. (2020). Machine learning to estimate surface soil moisture from remote sensing data. Water, 12(11), 3223.
- [14] Straž, G., & Borowiec, A. (2020). Estimating the Unit Weight of Local Organic Soils from Laboratory Tests Using Artificial Neural Networks. Applied Sciences, 10(7), 2261.
- [15] Pham, B. T., Qi, C., Ho, L. S., Nguyen-Thoi, T., Al-Ansari, N., Nguyen, M. D., ... & Prakash, I. (2020). A novel hybrid soft computing model using random forest and particle swarm optimization for estimation of undrained shear strength of soil. Sustainability, 12(6), 2218.
- [16] Kayabali, K., Akturk, O., Fener, M., Ozkeser, A., Ustun, A. B., Dikmen, O., ... & Asadi, R. (2016). Determination of Atterberg limits using newly devised mud press machine. Journal of African Earth Sciences, 116, 127-133.
- [17] Dantas, G. H. S., Furlan, A. P., Fabbri, G. T. P., & Suárez, D. A. A. (2016). On gyrotory compaction of a clayey soil. EJGE, 21(17), 5725-5733.
- [18] Zhao, C., Koseki, J., & Sasaki, T. (2018). Image based local deformation measurement of saturated sand specimen in undrained cyclic triaxial tests. Soils and Foundations, 58(6), 1313-1325.
- [19] Lu, C., Lu, J., Zhang, Y., & Puckett, M. H. (2019). A convenient method to estimate soil hydraulic conductivity using electrical conductivity and soil compaction degree. Journal of Hydrology, 575, 211-220.
- [20] Alkayış M.H., Laboratuvar Ölçekli Santrifüj Deney Sistemi ile Zemin Parametrelerinin Tayini. (2019) Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- [21] Kučerík, J., Svatoň, K., Malý, S., Brtnický, M., Doležalová-Weismannová, H., Demyan, M. S., ... & Tokarski, D. (2020). Determination of soil properties using thermogravimetry under laboratory conditions. European Journal of Soil Science, 71(3), 415-419.
- [22] Lozovsky, I. N., Zhostkov, R. A., & Churkin, A. A. (2020). Numerical Simulation of Ultrasonic Pile Integrity Testing. Russian Journal of Nondestructive Testing, 56(1), 1-11.
- [23] Yildiz, A., Graf, F., Rickli, C., & Springman, S. M. (2018). Determination of the shearing behaviour of root-permeated soils with a large-scale direct shear apparatus. Catena, 166, 98-113.

- [24] Beyaz, T., KAYABALI, K., & SÖNMEZER, Y. B. (2021). Kumların sıvılaşmasında rölatif sıklık ve kesme birim deformasyonu etkisinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(3), 431-440.
- [25] Balci, M. C., Kayabali, K., & Asadi, R. (2018). Miniature Centrifuge Modeling for Conventional Consolidation Test. Geotechnical Testing Journal, 41(3), 590-600.
- [26] Kayabali, K., Asadi, R., Fener, M., Dikmen, O., Habibzadeh, F., & Aktürk, Ö. (2020). Estimation of the compaction characteristics of soils using the static compaction method. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 162(162), 75-82.
- [27] Priest, J. A., Druce, M., Roberts, J., Schultheiss, P., Nakatsuka, Y., & Suzuki, K. (2015). PCATS Triaxial: A new geotechnical apparatus for characterizing pressure cores from the Nankai Trough, Japan. Marine and Petroleum Geology, 66, 460-470.
- [28] Suwal, L. P., & Kuwano, R. (2018). Triaxial apparatus equipped with elastic waves and matric suction measurement techniques. Soils and Foundations, 58(6), 1553-1562.
- [29] Li, L., & Zhang, X. (2014). Development of a new high-suction tensiometer. In Soil behavior and Geomechanics (pp. 416-425).



Yazılım Güvenlik Açığı Veri Tabanları

Hakan Kekül^{1*}, Burhan Ergen², Halil Arslan³

^{1*} Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6269-8713), hakankekul@gmail.com

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3244-2615), bergen@firat.edu.tr

³ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3286-5159), harslan@cumhuriyet.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012410)

ATIF/REFERENCE: Kekül, H., Ergen, B. & Arslan, H. (2021). Yazılım Güvenlik Açığı Veri Tabanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1008-1012.

Öz

Bir yazılım bileşeninin güvenlik açığı eğiliminin öngörülmesi, yazılım mühendisliğinin zorlayıcı araştırma alanlarından biridir. Bir bileşenin güvenlik açığı eğilimi hakkında önceden bilgi sahibi olmak, test çabasını ve süreyi önemli ölçüde azaltabilir. Yazılım güvenlik açıklarının belirlenmesi ve sınıflandırılması geliştiricilere yazılımın geliştirilmesinde doğru karar verme noktasında yardımcı olacaktır. Bu sebeple yazılımlarda tespit edilen açıklar çok uzun zamandır veri tabanlarına kaydedilmektedir. Farklı araştırma grupları tarafından pek çok veri tabanı oluşturulmuştur. Bu çeşitlilik her veri tabanına kendi içinde avantajlar ve dezavantajlar sağlamıştır. Bu çalışmada araştırmacıların çalışmalarında hangi veri tabanını kullanacaklarına karar vermelerine yardımcı olmak ve literatürde kullanılan en güncel ve erişime açık olanların sistematik bir listesi oluşturulmuştur. Yazılım güvenlik açığı tespiti ve sınıflandırmasında kullanılan birçok farklı veri tabanının incelenmesi ve karşılaştırması yer almaktadır. Çalışmanın sonunda sonuçlar sunulmuş ve gelecekteki çalışmalar için yönlendirici tavsiyeler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yazılım Güvenliği, Yazılım Güvenlik Açığı, Zafiyet Veri Tabanları, Siber Güvenlik

Software Vulnerability Databases

Abstract

Predicting the vulnerability propensity of a software component is one of the challenging research areas of software engineering. Having prior knowledge of a component's vulnerability propensity can significantly reduce testing effort and time. Identifying and classifying software vulnerabilities will assist developers in making the right decision in software development. For this reason, vulnerabilities detected in software have been recorded in databases for a very long time. Many databases have been created by different research groups. This diversity has provided advantages and disadvantages to each database. In this study, a systematic list of the most up-to-date and accessible ones used in the literature was created to help researchers decide which database to use in their studies. There is a review and comparison of many different databases used in software vulnerability detection and classification. At the end of the study, the results are presented and guiding recommendations for future work are given.

Keywords: Software Security, Software Vulnerability, Weakness Databases, Vulnerability Databases.

* Sorumlu Yazar: hakankekul@gmail.com

1. Giriş

Siber güvenlik günümüz yazılım dünyasının en önemli kavramlarından biridir. Yazılımlar modern günlük yaşantımızın içinde çok önemli bir yere sahiptirler. Birçok durumda, yazılım sisteminde oluşabilecek sorunlar kötü sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle, yazılımın güvenliğini belirleyebilmek çok önemlidir. Daha güvenli sistemlerin inşa edilmesi, son yıllarda tüm yazılım mühendisliği çabalarını yönlendiren amaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu anlamda hata tahmini, yeniden kullanılabilirlik, yaşlanma tahmini, bilgi güvenliği ve yazılım ürün hattı gibi kavramların doğmasına neden olmuş ve bu alanlarda bilimsel çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Yazılım güvenlik açıkları uzman kişiler tarafından manuel tespit edilerek sınıflandırılmakta, kategorize edilmekte ve skorlanmaktadır.

Yazılım kalitesi, güvenlik açığı özelliklerinin analizi, keşfi ve skorlarını tahmin ederek sınıflandıracak çalışmalar son yıllarda giderek artmaktadır. İlk olarak, yazılım kalite değerlerinin belirlenmesi için kullanılan yazılım metrikleri ayrıntılı olarak literatürde kullanılmıştır. Daha sonra yazılım güvenlik açığı analizi akademik bir ilgi alanı olarak tanımlanmıştır. İlk çalışmalarda geleneksel yaklaşımlar uygulanmış olsa da başarı istenen seviyede olamamıştır. Makine öğrenmesi ve veri madenciliği tekniklerinin yazılım bileşenlerinin güvenlik açıkları probleminde kullanımının arkasındaki motivasyon kaynağı bu algoritmaların farklı problemlerde ciddi başarılar elde etmesinde yatmaktadır (Kekül er al. 2021). Literatürde bu amaçla, yazılım bileşenlerinin güvenlik açığı analizi ve tespiti problemi için makine öğrenme ve veri madenciliği tekniklerini kullanan birçok farklı çalışma kategorik olarak yapılmıştır (Ghaffarian and Shahriari 2017).

Özellikle son dönemde tüm araştırmacılar makine öğrenmesi algoritmalarında kullanılacak özellikte veri setleri üzerine özellik mühendisliği çalışmalarının yapılmasını tavsiye etmektedir (Ghaffarian and Shahriari 2017; Spanos and Angelis 2018).

Ghaffarian vd. (Ghaffarian and Shahriari 2017), yazılım kırılabilirlik analizi ve keşif alanındaki makine öğrenmesi ve veri madenciliği tekniklerini kullanan birçok farklı çalışmanın kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Bu alandaki farklı çalışma kategorilerini inceleyerek, hem avantajları hem de eksikliklerini tartışmakta ve alandaki zorlukları ve bazı keşfedilmemiş bölgeleri işaret etmektedir. Yazarlar çeşitli yazılım açıkları için yüksek düzeyde ayırt edici ve etkileyici güce sahip mühendislik açısından zengin özellikler içeren makine öğrenim sistemlerinin performansını artıracak özellik mühendisliği çalışmalarının yapılmasını önermektedir.

Wu vd. (Wu et al. 2020), makine öğrenimi tabanlı güvenlik hata raporları (SBR) tahmini için büyük ölçekli veri kümeleri oluşturma yaklaşımı önermektedir. Yaklaşık 80 bin hata raporu içeren OpenStack için veri kümesinin başlangıç sürümünü oluşturmuşlardır. Sonuç olarak, oluşturulmuş veri setlerinin kalitesini daha da artırmak için diğer yöntemleri (özellik seçimi, derin öğrenme gibi) dahil ederek veri seti oluşturma yaklaşımını geliştirmeyi önermektedir.

Williams vd. (Theisen and Williams 2020), çalışmalarında yıllardır biriken güvenlik açığı verilerinin büyük bir yapılandırılmamış veri grubu haline geldiğini belirtmektedir. Bu durumun verilerin kapsamlı analizini yapmak için gerekli araçların ve algoritmaların denenmesindeki eksiklikler yüzünden

çoğunlukla keşfedilemeyen noktalar olduğunu vurgulamaktadır. Sonuçları, güvenlik açığı eğilimleri, evrimi ve etkileşimleri ile güvenlik açıklarına karşı genel ürün duyarlılığı konusunda önemli bir boşluk bulunduğunu ortaya koymaktadır. Güvenlik açığı verilerinin önemli özelliklerini anlamının araştırmacıların ve endüstri uzmanlarının gelecek çalışmalarında daha güvenli sistemler geliştirmesinde, güvenlik açıklarından kaynaklanan sorunların azalmasında ve yeni akademik çalışma alanlarının doğmasına yol açacağı belirtilmektedir.

Fang vd. (Fang et al. 2020), güvenlik açıklarının sadece küçük bir bölümünün saldırganlar tarafından istismar edildiğini belirtmiştir. Bu nedenle istismar edilemez güvenlik açıkları ile diğerlerinin ayırt edilmesinin sınırlı kaynakların verimli kullanımını sağlayacağını vurgulamaktadır. Belirlenen güvenlik açıklarının sistemde yayınlanmasının zaman alması ve NVD veri tabanının kurumsal yapısından kaynaklanan etkilerden dolayı yetersiz kaldığı farklı toplulukların oluşturduğu veri tabanı açıklamalarının daha verimli özellikler içerdiği belirtilmektedir.

Yang vd. (Yang et al. 2020), istismar kodlarının yaklaşık yarısının güvenlik açığının ilanından iki hafta içerisinde kullanıldığı açıklamıştır. Bunun yanında ilan edilen açıkların sadece %20'sinin istismara maruz kaldığı belirtilmektedir. Bu nedenle güvenlik açıklarının skorlarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve açıkların önceliklendirilmesinin önemi vurgulanmaktadır.

Raducu vd. (Raducu et al. 2020), güvenlik açıklarını tespit etmek için farklı makine öğrenimi tekniklerinin ortaya çıktığını ve geliştirildiğini vurgulanmaktadır. Ancak, bu algoritmaların performanslarının veri kümeleri olarak bilinen çok miktarda verinin işlenmesine dayanan veri güdümlü motorlara ihtiyaç duyduğunu belirtmektedir.

İncelenen literatürün de gösterdiği üzere yazılım güvenlik açıklarının raporlanmaya başlanması ile birlikte akademik camianın bu alana ilgisi artmıştır. Alanın önemi dolayısı ile çalışmalar özellikle gelişmiş ülkelerde devlet desteği ile yapılmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmalarının pek çok problemde başarı ile uygulanması sonrası özellikle 2012 yılından itibaren bu problem özelinde kullanıldığını görülmektedir (Ghaffarian and Shahriari 2017). Son yıllarda yapılan çalışmalar makine öğrenmesi temelli yaklaşımların kullanımı tavsiye etmektedir. Ancak literatür incelemelerinden de anlaşılacağı üzere yüksek başarımlar elde edilebilmesi için çalışmalarda yapılandırılmış ve özellikleri çıkarılmış veri setlerinin kullanılmasına ihtiyaç olduğu açıktır (Ghaffarian and Shahriari 2017; Miyamoto, Yamamoto, and Nakayama 2017; Raducu et al. 2020; Theisen and Williams 2020; Wu et al. 2020). Alana yön veren NVD veri seti yapısı itibari ile bunu sağlayamamaktadır. Bu durum araştırmacı topluluğu tarafından farklı özellikler barındıran veri setleri oluşturmak yolu ile çözülmeye çalışılmıştır. Oluşturulan farklı veri setleri aynı güvenlik açıklarına yeni ve daha geniş bilgiler eklemiştir. Tüm bu veri setlerinin temel sorunu doğal dille ve uzmanların anlayacağı yapılar olarak oluşturulmuş olmalarıdır. Makine öğrenimi algoritmalarında doğrudan kullanımları uygun değildir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yazılım Güvenlik Açığı Kavramı

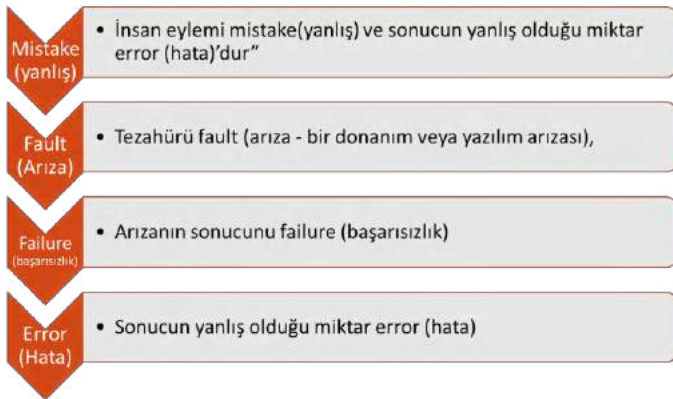
Yazılım güvenlik açığı kavramını tanımlarken IEEE Standart Yazılım Mühendisliği Terminolojisi Sözlüğüne baktığımızda iki

temel terimi merkezine alan Krsul (Krsul 1998) ve Ozment (Ozment 2007) tanımlarını kabul ettiğini görmekteyiz. Bunlar;

Krsul (Krsul 1998); “yazılımın tanımlanmasında, geliştirilmesinde veya yapılandırılmasında, yazılımın çalıştırılmasında güvenlik politikasını ihlal edebilecek bir hata örneği”.

Ozment; “Bir yazılım güvenlik açığı, uygulamanın örtük veya açık güvenlik politikasını ihlal edebilmesi için yazılımın teknik özelliklerinde, geliştirilmesinde veya yapılandırılmasında yapılan bir yanlışın bir örneğidir” (Ozment 2007).

Bu iki tanımdaki temel fark hata kelimesinin yanlış olarak değiştirmiş olmasıdır. IEEE Standart Yazılım Mühendisliği Terminolojisi Sözlüğünde bu tanımlar benimsenmiştir (Committee and others 1990).



Şekil 1: Yazılım güvenlik açığını tanımlamada kullanılan terimler

IEEE Yazılım Mühendisliği Terminolojisi Sözlüğü ‘ne baktığımızda şekil-1’deki dört anahtar terimin tanımlarının önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu terimlerin ilişkisinin bir özeti

ve açıklanması “insan eylemi mistake(yanlış), tezahürü fault (bir donanım veya yazılım arızası), arızanın sonucunu failure (başarısızlık) ve sonucun yanlış olduğu miktar error (hata)’dur” (Committee and others 1990).

Bu tanımlardan, bir yazılım güvenlik açığı tanımında kullanılacak uygun anahtar terimin fault(arıza) (ayrıca kusur veya bug) olduğunu literatürde belirtilmiştir (Ghaffarian and Shahriari 2017).

Genel kabul gören tanıma göre yazılım güvenlik açığı şu şekilde tanımlanmaktadır; “Bir yazılım güvenlik açığı, bazı açık veya örtülü güvenlik politikasını ihlal etmek için kullanılabilir şekilde yazılımın tasarımında, geliştirilmesinde veya yapılandırılmasındaki bir hatanın neden olduğu bir kusur örneğidir.” (Ghaffarian and Shahriari 2017)

2.2. Güvenlik Açığı Veri Tabanları

Bir güvenlik açığı tespit edildiği zaman resmi yollar ile ilan edilmesi için uluslararası bir standart olan ve ABD İç Güvenlik Bakanlığı tarafından finanse edilen bir prosedür uygulanmaktadır. Bu işlem için yetkilendirilmiş kurum kar amacı gütmeyen MITRE şirkettir (Mitre Corporation 2020). Bu organizasyona üye olan pek çok ülkeye bağlı Bilgisayar acil müdahale ekipleri (Computer emergency response team –CERT) tarafından Ortak Güvenlik Açıkları ve Etkilenmeler (Common Vulnerabilities and Exposures – CVE) veri tabanına tespit edilen güvenlik açıkları kaydedilerek resmi süreç başlatılmış olmaktadır.

Çalışmamızda literatürde kullanılmış on iki farklı veri tabanı tespit edilmiş ve incelenmiştir. Veri tabanlarının tespitinde özellikle akademik çalışmalarda kullanılmış olması tercih edilmiştir. Tespit edilen on iki veri tabanı ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmamıza hangi veri tabanlarının dahil edilip hangilerinin dışarda bırakılacağına karar vermek üzere iki seçim kriteri belirlenmiştir. Bunlar güncellik ve araştırmacıların kullanımına açık erişim imkânları sağlamalarıdır. Bu iki temel seçim kriterine uyan veri tabanları çalışmamız içerisinde incelenmiştir. Bu seçim sonucu yedi veri tabanı seçilmiştir.

Tablo 1. Veri tabanlarının genel bilgileri

Veri Tabanı	Güvenlik Skoru	Çözüm	İstismar Kodu	Referanslar	Test	Raporlama	İş Modeli	Veri Boyutu
CVE	×	×	×	✓	×	Herkes	Kamu	139.407
NVD	✓	×	(✓)	✓	×	Üyeler	Kamu	147.510
Exploit-DB	×	×	✓	✓	✓	Herkes	Kamu	42.962
SecutiryFocus	×	✓	(✓)	✓	✓	Herkes	Kamu	102.330
Rapid7	✓	×	×	✓	×	Çalışanlar	Ticari	171.816
Snyk	✓	×	×	✓	×	Çalışanlar	Ticari	6.012
SARD	×	×	×	✓	✓	Herkes	Kamu	177.184

Çalışmaya dahil edilen veri tabanları karşılaştırılırken güvenlik açığı skorlaması, veri boyutu, raporlama, iş modeli, güvenlik açığı için çözüm yöntemi, istismar kodlarının bulunup bulunmaması, referanslar ve güvenlik açıkları için test yapıp yapmama kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Tablo 1’de tüm değerlendirme kriterlerine göre veri tabanlarının genel bilgileri verilmiştir.

2.2.1. CVE - Ortak Güvenlik Açıkları ve Etkilenmeler Sözlüğü

Tespit edilen güvenlik açıklarına uluslararası bir standart getirmek üzere MITRE tarafından bir araya getirilen büyük güvenlik organizasyonları ile birlikte 1999 yılında kurulmuştur. Genel olarak bilinen siber güvenlik açıkları için bir tanımlayıcı listedir. CVE girişlerinin kullanımı yazılımların güvenliği

hakkında uluslararası güvenilirliği olan benzersiz bir güven sağlamaktadır. CVE, bir güvenlik açığı için tanımlayıcı, standartlaştırılmış bir açıklama, bir temel, endüstri tarafından onaylanmış herkese açık ve ücretsiz veri sağlamayı amaç edinmiştir. Temel misyonu farklı veri tabanları ile araçlar için aynı standartları oluşturmak, birlikte çalışabilirlik ve bilişim ekosisteminin güvenlik kapsamını iyileştirmektedir. Bir veri tabanından çok bir sözlük olarak kendisini tanımlamaktadır. Bilinen tüm büyük veri tabanları temelde CVE'de yayınlanan listeleri temel alarak oluşturulmuştur (CVE 2020). Standart ve güvenilir bilgi sağlamasının yanında listelerinin ham bilgiler barındırması ve ek bilgiler içermemektedir.

2.2.2. NVD - Ulusal Güvenlik Açığı Veri Tabanı

Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsüne (NIST) bağlı olarak 2000 yılında oluşturulmuştur. Güvenlik açığı yönetimi verilerini, yönetimini, ölçümünü ve uyumluluğunu içeren bir veri tabanıdır. NVD, güvenlik kontrol listesi referansları, güvenlikle ilgili yazılım kusurları, yanlış yapılandırmalar, ürün adları ve etki metrikleri veri tabanlarını içermektedir. ABD Ulusal Güvenlik Bakanlığı'nın Ulusal Siber Güvenlik Bölümü tarafından desteklenmektedir (NVD 2020).

NVD çalışanlarının temel görevi CVE sözlüğünde yayınlanan güvenlik açığı listeleri üzerinde analiz yapmaktır. Bu aşamada CVE'lerde bulunan açıklamaları, referansları toplayabildikleri tüm ek verileri kullanırlar. NVD veri tabanında yayınlanan veriler için temel olarak; ilişkili etki metrikleri (Ortak Güvenlik Açığı Puanlama Sistemi - CVSS), güvenlik açığı türleri (Ortak Zayıflık Numaralandırması - CWE) ve uygulanabilirlik ifadeleri (Ortak Platform Numaralandırması - CPE) ve diğer ilgili meta veriler eklenir. Ancak NVD atadığı öznitelikler için güvenlik açığı testi yapmamaktadır. Yeni bilgilere göre verilerin CVSS puanları ve uygulanabilirlik ifadeleri değişebilir (NVD 2020).

2.2.3. Exploit-DB

Offensive Security tarafından 2004 yılında kamu hizmeti olarak kar amacı gütmeyen bir proje olarak doğmuştur. CVE sözlüğünde yayınlanan listeler ile uyumludur. Temel amaç, en kapsamlı istismar arşivine hizmet etmek ve bunları serbestçe erişilebilen ve gezinmesi kolay bir veri tabanında sunmaktır. Exploit veri tabanı, tanımlardan ziyade CVE listelerinde yayınlanan açıkların istismarlar edilebilirliğini gösteren PoC kodları (Proof of Concept Code) ve kavram kanıtları sağlamaktadır. PoC, bir saldırganın güvenlik açığını nasıl istismar edebileceğini açıklayan basit bir kod parçasıdır. Bu özelliği veri tabanını hemen eyleme geçirilebilir verilere ihtiyaç duyanlar için değerli bir kaynak haline getirmektedir. Ancak PoC kodu bulunmayan veriler ihmal edilmektedir (ExploitDB 2020).

2.2.4. SecurityFocus

Bağımsız güvenlik uzmanları tarafından oluşturulan bir topluluk tarafından 1999'da kurulmuştur. CVE listelerini temel alan SecurityFocus Güvenlik Açığı Veri Tabanı, güvenlik profesyonellerine tüm platformlar ve hizmetler için güvenlik açıkları hakkında en güncel bilgileri sağlamayı amaçlamaktadır. Bunun için haber bültenleri, teknik makaleler ve yazılar yayınlamaktadır. Posta listeleri sayesinde dünyanın her yerindeki üyeleri ile güvenlik sorunlarını tartışmaya olanak sağlamaktadır (SecurityFocus 2020). SecurityFocus en önemli ve en saygın güvenlik açığı veri tabanlarından biridir. NVD veri tabanındaki tanımlamalara göre SecurityFocus listelerindeki tanımlamalar

güvenlik açığının etkisini ve sömürülebilirliğini daha spesifik olarak açıklamaktadır (Fang et al. 2020).

2.2.5. Rapid7

Birleşik güvenlik yönetimi çözümleri sağlayan bir güvenlik şirketi olan Rapid7 2000 yılında kurulmuştur. Güvenlik uzmanları ve araştırmacıların incelemesi için güvenlik açığı ve istismar için teknik ayrıntılar içeren bir veri tabanıdır. CVE listeleri ile uyumludur. Veri tabanında yayınlanan tüm istismar kodları Metasploit çerçevesine dahil edilmiştir. Kamu politikası olarak, tüketicilere fayda sağlayan ve sorumlu siber güvenlik uygulayıcılarını savunan politikaları, standartları ve mevzuatı şekillendirmek için hükümetler, şirketler, kar amacı gütmeyen kuruluşlar ve uzmanlarla birlikte çalışmayı benimsemiştir (Rapid7 2020).

2.2.6. Snyk

Snyk veritabanı, açık kaynak projeleri için ücretsiz olan kod değerlendirme araçları sağlayan kar amaçlı bir şirket tarafından oluşturulmuştur. Açık kaynak projelerinin geliştirilmesini desteklemek ve güvende kalmalarını sağlamaya yardımcı olmayı misyon edinmiştir (Snyk 2020).

2.2.7. SARD – Software Assurance Reference Dataset Project

Koleksiyon 2005 yılında Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından oluşturulmaya başlanmıştır. İlk duyurulduğunda Standart Referans Veri Kümesi - SRD kısaltılmış olarak adlandırılmıştır. Bu ad 2014 yılında Yazılım Güvencesi Referans Veri Kümesi – SARD kısaltması olarak değiştirilmiştir. Bir dizi bilinen güvenlik açıklarını sağlayarak kullanıcıların, araştırmacıların ve yazılım geliştiricilerin güvenlik araçları geliştirmelerine yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Ayrıca test senaryoları tasarımları, kaynak kodları, ikili dosyalar gibi verileri de sağlayarak yazılım yaşam döngüsünün tüm aşamalarını barındıran bir arşiv sunmaktadır. Bu, son kullanıcıların geliştirdikleri araçlarını ve araç geliştirme yöntemlerini test etmelerini ve değerlendirmelerini sağlar. Veri kümesi, "gerçek" (üretim), "suni" (test etmek için yazılmış) ve "akademik" (öğrencilerden) test senaryolarını içerir. Bu veri tabanı aynı zamanda bilinen hatalara ve güvenlik açıklarına sahip gerçek bir yazılım uygulaması içermektedir. Veri kümesi, çok çeşitli olası güvenlik açıklarını, dilleri, platformları ve derleyicileri kapsamaktadır. Veri kümesinin, birçok katılımcıdan test senaryoları toplayarak büyümektedir (SARD 2020).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Tartışma

Yazılım güvenlik açıkları, insanların günlük işlemlerinin büyük çoğunluğunu bilgi sistemlerinin desteğiyle gerçekleştirildiği çağdaş toplumda büyük bir tehdit oluşturmaktadır. NVD veri tabanı istatistiklerine göre yazılım güvenlik açıklarında 2016'dan günümüze kadar %100 artış görülmektedir. Yazılım güvenlik açıklarındaki bu büyük artış, bu konunun siber güvenlik camiası için önemli bir araştırma alanı haline gelmesine neden olmuştur. Sürekli artan güvenlik açıkları sorunu, araştırmacıların onları tahmin etmeye çalışmasına yol açmaktadır (Kekül et al. 2021).

NVD'de yayınlanan Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) teknik raporları 1988 yılından beri tespit edilebilmiş tüm güvenlik açıklarının doğal dille yazılmış bir kümesidir. Bu yönü

ile makinelerin değil insanların anlaması ve yorumlaması öngörülmüştür. Ancak NVD veri setindeki bilgilerin yetersizliğinden dolayı farklı topluluklar tarafından CVE verileri için oluşturulmuş farklı veri setleri bulunmaktadır. Ancak genellikle güvenlik açıklarına yeni özellikliler eklese de bu veri tabanları da doğal dille yazılmıştır. Ancak bu veri setleri temelde NVD gibi CVE teknik raporlarını temel almakta ve aynı güvenlik açıklarına yeni özellikler ve açıklamalar getirmektedir. Örneğin NVD’de bulunan açıklamaların yetersiz olduğunu düşünen uzmanlar tarafından SecurityFocus veri tabanı oluşturulmuştur. Aynı şekilde güvenlik açıklarının PoC kodlarının yer aldığı ExploitDB veri tabanı istismar kodu bulunan bir veri setidir. Farklı özelliklere sahip açık kaynak farklı veri tabanları mevcuttur. Ancak vurgulandığı gibi tamamı insanların anlayabileceği doğal dille hazırlanmış veri tabanlarıdır. Bunların doğrudan makine öğrenmesi algoritmalarında kullanılması mümkün değildir.

4. Sonuç

Sonuç olarak CVE sözlüğü ortak güvenilir bir standart ve alt yapı sağlamaktadır. Diğer veri tabanları CVE listelerini kullanarak kendi veri setlerini güncellemektedirler. NVD bu listelerdeki ham verilere uzman görüşleri ile yeni özellikler ve açıklamalar eklemektedir. Ancak eklenen bu özellikler ve açıklamaların yeterliliği tartışma konusudur. Bu sorundan dolayı alanın uzmanlarından oluşan topluluklar bu listelere daha anlaşılır ve kullanışlı özellikler ekleyerek yeni veri setleri oluşturmuşlardır. SecurityFocus ve ExploitDB bunların en başında gelen veri tabanlarıdır. Bu veri tabanlarının NVD’den temel farkları daha anlaşılır bilgiler içeren açıklamaları ve istemir kodlarını içeren yapılarıdır. Rapid7 ve Snyk gibi ticari veri tabanları güvenlik açıklarının ticari değerleri yasal yollarla değerlendirilmektedirler. Ayrıca bu durum ticari güvenlik çerçevelerinin geliştirilmesini sağlayarak daha güvenli yazılım ürünlerinin çıkması için sektörü desteklemektedir. SARD veri tabanının sağladığı güvenlik test senaryoları en temel özelliğidir. Bu durum yazılım test mühendisliğinin gelişmesinde önemli katkılar sunmaktadır. Alandaki her veri tabanı farklı bir özelliği ile öne çıkmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarımızda ilk hedef geniş bir veri tabanı imkanı bulunmasına rağmen makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarında doğrudan kullanılmayan bu büyük yapıdaki verilerden tek ve kapsamlı işlenmiş ve yapılandırılmış bir veri tabanı oluşturmak olacaktır. Oluşturulacak veri tabanı açık kaynak prensibi ile araştırmacıların kullanımına sunulacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 121E298 proje numarası ile desteklenmektedir.

Kaynakça

Committee, IEEE Standards Coordinating, and others. 1990. “IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology (IEEE Std 610.12-1990). Los Alamitos.” *CA: IEEE Computer Society* 169.

CVE. 2020. “CVE.” *Common Vulnerabilities and Exposures*. <https://cve.mitre.org> (July 25, 2020).

ExploitDB. 2020. “Exploit Database.” <https://www.exploit-db.com> (July 25, 2020).

Fang, Yong, Yongcheng Liu, Cheng Huang, and Liang Liu. 2020. “Fastembed: Predicting Vulnerability Exploitation Possibility Based on Ensemble Machine Learning Algorithm.” *PLoS ONE* 15(2): 1–28. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0228439>.

Ghaffarian, Seyed Mohammad, and Hamid Reza Shahriari. 2017. “Software Vulnerability Analysis and Discovery Using Machine-Learning and Data-Mining Techniques: A Survey.” *ACM Computing Surveys* 50(4).

Kekül, H., Ergen, B., & Arslan, H. (2021). A multiclass hybrid approach to estimating software vulnerability vectors and severity score. *Journal of Information Security and Applications*, 63, 103028.

Kekül, H., Ergen, B., & Arslan, H. (2021). A New Vulnerability Reporting Framework for Software Vulnerability Databases.

Krsul, Ivan Victor. 1998. “Software Vulnerability Analysis.” Purdue University.

“Mitre Corporation.” 2020. <https://www.mitre.org> (July 25, 2020).

Miyamoto, Daisuke, Yasuhiro Yamamoto, and Masaya Nakayama. 2017. “Text-Mining Approach for Estimating Vulnerability Score.” *Proceedings - 2015 4th International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security, BADGERS 2015*: 67–73.

NVD. 2020. “NVD.” *National Vulnerability Database*. <https://nvd.nist.gov> (July 25, 2020).

Ozment, Andy. 2007. “Improving Vulnerability Discovery Models: Problems with Definitions and Assumptions.” *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security*: 6–11.

Raducu, Razvan, Gonzalo Esteban, Francisco J. Rodriguez Lera, and Camino Fernández. 2020. “Collecting Vulnerable Source Code from Open-Source Repositories for Dataset Generation.” *Applied Sciences (Switzerland)* 10(4).

Rapid7. 2020. “Rapid7.” <https://www.rapid7.com/db/> (July 25, 2020).

SARD. 2020. “SARD-Software Assurance Reference Dataset Project.” <https://samate.nist.gov> (July 25, 2020).

SecurityFocus. 2020. “SecurityFocus.” <https://www.securityfocus.com> (July 25, 2020).

Snyk. 2020. “Snyk.” <https://snyk.io> (July 25, 2020).

Spanos, Georgios, and Lefteris Angelis. 2018. “A Multi-Target Approach to Estimate Software Vulnerability Characteristics and Severity Scores.” *Journal of Systems and Software* 146: 152–66. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.09.039>.

Theisen, Christopher, and Laurie Williams. 2020. “Better Together: Comparing Vulnerability Prediction Models.” *Information and Software Technology* 119(August 2019).

Wu, Xiaoxue et al. 2020. “CVE-Assisted Large-Scale Security Bug Report Dataset Construction Method.” *Journal of Systems and Software* 160: 110456. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110456>.

Yang, Heedong, Seungsoo Park, Kangbin Yim, and Manhee Lee. 2020. “Better Not to Use Vulnerability’s Reference for Exploitability Prediction.” *Applied Sciences (Switzerland)* 10(7).



Taşkın Modelleme Yöntemlerinin Gözden Geçirilmesi ve Karşılaştırılması

Vahdettin Demir¹, Neslihan Beden², Aslı Ülke Keskin³

^{1*} KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6590-5658), vahdettin.demir@karatay.edu.tr

² Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uçay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5573-8016), neslihan.beden@samsun.edu.tr

³ Ondokuzmayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9676-8377), asli.ulke@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010220)

ATIF/REFERENCE: Demir, V., Beden, N. & Keskin, A. Ü. (2021). Taşkın Modelleme Yöntemlerinin Gözden Geçirilmesi ve Karşılaştırılması. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1013-1021.

Öz

Bu çalışmada, global anlamda en büyük felaketlerden biri olan taşkınların analiz edilmesinde kullanılan son teknoloji deneysel, hidrodinamik ve basit kavramsal modeller karşılaştırılmaktadır. Çalışmada taşkın modellemesinde yaşanan en son gelişmeler vurgulanarak, mevcut modellerin avantajları ve dezavantajları ortaya konulmaktadır. Modelleme konusundaki belirsizliklerin analiz edilmesinde kullanılabilir çeşitli yaklaşımlar ve ele alınış biçimleri irdelenmiştir. Çalışmanın amacı, bu konu üzerine yapılacak çalışmalar için su kaynaklarının yönetimi üzerine çalışan bilim insanlarına, acil durum müdahale kuruluşlarına, sigorta şirketlerine ve diğer karar vericilere konu ile ilgili en son bilgileri vermek ve taşkınlarla ilgili pratik sorunların çözümü için en uygun yöntemin ya da modelin seçilmesinde rehberlik etmektir. Çalışma ile modelleme amacına ve modelleme sonucunda elde edilmek istenen spesifik çıktılara göre, ihtiyaç duyulacak veriler ve analiz yöntemleri anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taşkınlar, Doğal afetler, Hidrodinamik modelleme, Uzaktan algılama.

Review and Comparison of Flood Modeling Methods

Abstract

In this study, the latest technology experimental, hydrodynamic and simple conceptual models used to analyze floods, one of the greatest disasters globally, are compared. In this study, the latest developments in flood modeling are emphasized and the advantages and disadvantages of the existing models are presented. Various approaches and ways of analyzing the uncertainties about modeling are discussed. The aim of the study is to give the latest information on the subject to the scientists, emergency response organizations, insurance companies and other decision makers working on water resource management for the studies on this subject and to guide the selection of the most appropriate method or model for solving practical problems related to floods. it is to. According to the aim of modeling and modeling, the data and analysis methods will be needed.

Keywords: Floods, Natural disasters, Hydrodynamic modeling, Remote sensing.

¹ Sorumlu Yazar: vahdettin.demir@karatay.edu.tr

1. Giriş

Taşkın, meydana geldiği her bölgede önemli oranda can ve mal kaybına neden küresel bir olgudur. İnsan toplulukları için en yıkıcı, en yaygın ve en sık görülen doğal afettir. Öte yandan, taşkınlar gerçekte doğal su döngüsünün bir parçası olduğundan sonuçları her zaman olumsuz değildir. Özellikle uzun süreli kuraklıklara maruz olan bölgelerde meydana gelen taşkınlar büyük çevresel ve sosyal faydalara sahip olabilir. Diğer yandan periyodik taşkınlar çoğu nehir ve kıyı sulak alanlarındaki ekosistemler için hayati önem taşımaktadır (René et al., 2015). İnsanlık tarihi boyunca, taşkınları ve etkilerini anlamak, değerlendirmek ve tahmin etmek için pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir ve bu amaca yönelik olarak taşkın modelleri geliştirilmiştir. Can kaybına neden olma açısından taşkınlar; kuraklık, depremler ve fırtınalardan sonra dördüncü sırada yer almakta ve dünya çapında yaklaşık 180 milyon insanı etkilemektedir (Shamaoma, 2005; Mogollon vd, 2016).

Taşkın modelleri; yaygın olarak taşkın risk haritalarının üretilmesinde (Apel, Thielen, Merz, & Blöschl, 2006; Dutta, Herath, & Musiak, 2006), taşkın hasar değerlendirmesinde (Bhuiyan & Dutta, 2012; B. Merz, Kreibich, Schwarze, & Thielen, 2010; Mokhtari, Soltani, & Mousavi, 2017; Vojtek & Vojteková, 2016), gerçek zamanlı taşkın tahmini çalışmalarında (Arduino, Reggiani, & Todini, 2005; René et al., 2015), taşkınlar ile ilgili mühendislik çalışmalarında (Gallegos, Schubert, & Sanders, 2009), su kaynaklarının planlanmasında (Dutta et al., 2013), akarsularda şev erozyonu ve sediment taşınımı çalışmalarında (Marriott, 1992; Pizzuto, 1987), nehir hidrolojisi (Dutta et al., 2013) ve havza hidrolojisinde (Abbott, Bathurst, Cunge, O'Connell, & Rasmussen, 1986; Beven, 1989), taşkın ovası ekolojisi ve kirlilik çalışmalarında (Karim et al., 2015) kullanılmaktadır. Genel olarak, herhangi bir modellemeyi uygularken, zamansal ve mekansal ölçekte, model çıktılarının içeriğinin beklenen ve gereken doğruluk seviyesine sahip olması ve hesap süresi verimliliği açısından talepleri karşılama amaçlarıdır. Burada modelin hangi amaç için kurulduğu önemlidir. Gerçek zamanlı taşkın tahmin çalışmalarında, modellerin gerçek zamanlı verileri benzeştirerek kısa sürede sonuç vermesine ihtiyaç vardır. Kentsel alanlardaki taşkın riski değerlendirmelerinde, kritik üstü (sel) akımı doğru biçimde hesaplayabilecek akışkanlar dinamiğini benzeştiren sayısal bir model gerekmektedir. Akım hızlarının; baraj inşaatı, taşkın hasar değerlendirmesi veya erozyon çalışmaları için dikkatle modellenmesi ve raporlanması gerekirken, tehlike haritalarının üretimi ve su kaynaklarının planlaması için maksimum taşkın yayılım alanı ile maksimum su derinliği yeterlidir. Tüm bu değerlendirmelere göre kullanıcıların, model karmaşıklığı ve veri gereksinimleri karşısında taleplerini dengeleyecek bir modeli seçmeleri gerekmektedir. İklim modelleri, hidrolojik modeller ve hidrolik modelleri birleştirilen ve bu sistemlerle uyumlu çalışan taşkın modeli uygulamaları, iklim adaptasyonu ve risk azaltma stratejilerini formüle etmeyi amaçlamaktadır. Taşkın modelleri ile taşkın yayılım karakteristiklerinin güvenilir ve gerçekçi bir şekilde benzeşimi, su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde planlanmasına ve çevre sağlığının korunmasına olanak sağlamaktadır. Günümüz hidrolik çözümleri için gereken matematiksel denklemler Saint-Venant (1871) tarafından formüle edilmiştir. Gelişmiş hesap makinelerinin ya da bilgisayarların üretilip yaygınlaşmasına kadar bu denklemlerin çözümü ve mühendislik problemlerine pratik olarak uygulanabilmesi mümkün olmamıştır (Stelling & Verwey, 2005). Modern taşkın modellemesinin tarihi, ellili ve

altmışlı yıllara dayanmaktadır (Cunge, Holly, & Verwey, 1980; Cunge & Wegner, 1964; Isaacson, Stoker, & Troesch, 1958; Katopodes & Strelkoff, 1978; Mahmood, Yevjevich, & Miller, 1975; Martin & DeFazio, 1969; Martin & Zovne, 1971). Sayısal kodların yaygınlaşması ve gelişimi ise seksenli yıllarda başlamıştır (Alcrudo, 2004). Özellikle yetmişli yıllardan bu yana bilimsel araştırmacıların sistematik çabası neticesinde taşkın modellemesindeki becerilerin oldukça geliştiği görülmektedir. Son yıllarda bilgisayar bilimi alanındaki gelişmeler; doğru, hesaplanabilir ve yüksek çözünürlüklü taşkın modellerinin üretilmesini ve uygulanmasını sağlamıştır. Bu sayede günümüzde, taşkın risk analizi, gerçek zamanlı taşkın tahmini veya taşkın yönetimi gibi büyük ölçekli problemlerin çözülmesine olanak veren; ani taşkınlar, baraj yıkılmaları gibi spesifik olayların analizi için kullanılabilir çeşitli tipte modelleme araçları bulunmaktadır.

Birbirinden farklı özelliklere sahip olan modelleme hedefleri çoğunlukla özel modelleme teknikleri ve prosedürleri gerektirmektedir. Bu nedenle herhangi bir taşkın probleminin analizinde problemin içeriğine ve çözüm hedeflerine uyan bir taşkın modelleme aracının kullanılması gerekmektedir. O halde, taşkın modelinin seçimi; problemin türü ve karmaşıklığı, sonuçların gerekli kurum ve kuruluşlara teslim edilmesi için gereken danışmanlık süresi, hesaplama hızı, simülasyon süresi, doğruluk seviyesi, veri gereksinimleri ve yazılımın kullanım kolaylığı gibi faktörlerin sayısına bağlıdır (Stelling & Verwey, 2005). Taşkın modelinin seçimi, modelleme sorununun niteliğinin yanı sıra model kullanıcısının kişisel tercihlerine de bağlıdır.

Taşkın modelleri, model boyutu veya farklı boyutları birleştirme yeteneklerine göre genellikle kategorize edilmektedir. Geçtiğimiz yüzyılda, taşkınlar için iki yaklaşım grubu en fazla ilgiyi çekmiştir; bunlardan ilki deneme ve yanılma ile elde edilen ampirik yöntemler (Schumann, Bates, Horritt, Matgen, & Pappenberger, 2009; Smith, 1997) ikincisi ise hidrodinamik modelleme yöntemidir. İkinci grup; bir boyutlu (1B) (Brunner, 2016; DHI, 2016a), iki boyutlu (2B) (DHI, 2016b; Moulinec et al., 2011), bir boyutlu-iki boyutlu (1B-2B) modeller ile su seviyelerini ve üç boyutlu hız alanlarını tahmin etmek için kullanılabilir üç boyutlu (3B) sayısal modellerden oluşmaktadır (Prakash, Rothauge, & Cleary, 2014; Vacondio, Rogers, Stansby, & Mignosa, 2012; Zhang et al., 2019) Ancak üç boyutlu taşkın modelleme yöntemi büyük boyutlarda veri, depolama birimi gibi yüksek maliyetleri nedeniyle pek pratik değildir (Fotovatikhah et al., 2018; Kalinina et al., 2020). Bütün metodlar fizik kanunlarını karmaşık yapıya sahip olan su hareketlerine uygulayarak, akışkan hareketini simüle ederler. Son yıllarda, ulusal ölçekli taşkın risk değerlendirmelerinde olduğu gibi çok büyük taşkın alanlarının ve kısıtlı veriye sahip bölgelerin modellenmesi üçüncü bir yaklaşım grubu olarak yaygınlaşmaktadır. Bu modeller basitleştirilmiş kavramsal modeller olarak tanımlanabilir. Daha basit ve kaba fiziksel uygulamalara dayanan bu modellerin çalışma süreleri hidrodinamik modellerden daha kısadır. Özellikle geniş kapsamlı çalışma alanları ve/veya olasılıksal taşkın riski değerlendirmesinde stokastik modelleme için uygundur. Bu konuda yapılan tüm araştırmalara rağmen, hidrolojik ve hidrolik çalışmalarda yüksek mekansal-zamansal çözünürlüklerin kullanımında zorluklar devam etmektedir. Bu durum taşkın olayının karmaşık ve kaotik doğasından kaynaklanmaktadır (Bruno Merz & Thielen, 2005; Stephens, Bates, Freer, & Mason, 2012). Literatürde pek çok model ve algoritmayı tanıtan ve kıyaslayan birçok teknik ve felsefi tartışmada taşkın modellemesi

üzerine etkili rehberlik sağlamadaki ve en iyi uygulamayı bulmadaki zorluklar ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Bu çalışmada, en son teknolojiyi kullananlar için modelleme yaklaşımlarını tanıtarak, modellerin avantajlarını ve sınırlamalarını analiz edilmiş ve konu üzerine en son gelişmeler vurgulanarak gelecekte meydana gelebilecek yönelimler tartışılmıştır. Bu sayede taşkın modellemesi konusunda çalışmaya başlayacak araştırmacıları bu konuda bilgilendirirken, su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi üzerine çalışmalar yürüten; acil müdahale kurumlarına, sigorta şirketlerine ve diğer karar vericilere pratik problemleri çözmek için en uygun yöntemi/modeli seçmek üzere rehberlik etmeyi amaçlamaktadır. Bununla birlikte, yayınlanmış tüm çalışmaları ve mevcut tüm modelleri kapsamak mümkün değildir. Bunun yerine, taşkın modellemesinde yeni kavramları veya gerçek gelişmeleri ele alan ve farklı modelleme yaklaşımlarını karşılaştıran çalışmalara odaklanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Ampirik Metotlar

İnsan oğlu var olduğundan bu yana taşkınlardan etkilenmiştir. Taşkınlar sonucu meydana gelen zararlar ve faydalar toplumsal yapıya etki ederek insanlığın gelişiminde belirgin bir rol oynamıştır. Pleistosen döneminin (buzul çağı) sonlarına doğru Rusya'nın Altay bölgesinde bulunan Kuray nehrinde buzul yıkılması ile meydana gelen taşkında 18 milyon m³/s debi geçtiği araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Baker, Addams, & Davis, 2005). Bu tür çalışmalardan ilham alan jeologlar, hidrologlar ve tarihçiler taşkınların insanlık ve dünya ekosistemi üzerindeki rolünü araştırmış ve taşkınların dünyamızı şekillendirmedeki önemini ortaya koymuştur (O'Connor & Baker, 1992). Geçmişten bugüne insan toplulukları taşkınlar ile alakalı verileri toplamak, işlemek ve analiz etmek amacıyla basitten gelişmiş pek çok yöntem ortaya koymuştur. Bu yöntemlerden en önemlisi ve ilki taşkın gözlemlerinin veri olarak kaydedilmesidir. Geçmiş verileri dikkate alan modellerin genellikle doğru sonuç verdiği kabul edilir. Gözlem verileri uzaktan algılama ile taşkın derecesinin belirlenmesi, hidrodinamik modelleme ve model kalibrasyonu gibi diğer yöntemler için de bir girdi konumundadır (Beden, 2019; Demir & Ülke Keskin, 2020; Smith, 1997).

2.2. Hidrodinamik Modeller

Hidrodinamik modeller, akışkan hareketini benzeştirmeye çalışan ve genelde bilgisayar ortamında çözüm gerektiren sayısal modellerdir. Bu modeller fizik yasalarını uygulayarak formüle edilmiş denklemleri çözerek su hareketini benzeştirirler. Taşkın yatağında meydana gelen akımın uzamsal gösterimlerine bağlı olarak, bu modeller boyutsal olarak 1B, 2B ve 3B modeller şeklinde gruplandırılabilir. Tablo 1'de, taşkın modellemesinde kullanılan bazı modeller ve model geliştiricileri verilmiştir.

2.2.1. 1B Modeller

1B modeller kullanıcının akımı kanalının merkezi boyunca membadan mansaba doğru tek yönlü olarak ele aldığı en basit modellerdir. Akım için başka boyutlarda bilgilerin gerekli olmadığı sınırları belirli bir kanal ya da cebri boru akımları gibi belirgin 1B akımlar çok fazla ayrıntı gerektirmezler ve bu akımlarda 1B modeller kullanılmaktadır. Ayrıca 1B modeller, açık kanallarda taşkın yatağı akımını modellemek için

kullanılabilir; bu durumda taşkın yatağı akımının bir boyutlu kanal akımının bir parçası olduğu ve akımın yönünün ana kanala paralel olduğu varsayılır. Taşkın yatağında meydana gelecek akım hızlarını temsil etmek üzere talveg boyunca alınan enine kesitlerde ortalama hız kullanılır. 1B modellerin çözümünde; aralarında Δx mesafesi bulunan iki kesit arasında momentum ve kütle korunumuna dayanan Saint-Venant denklemleri kullanılır. Q ; ortalama kesitsel hızla göre hesaplanan debi, t ; zaman, h ; su derinliği, g ; yerçekimi ivmesi, S_f ; sürtünme eğimi, S_0 ; yatak eğimi, A ; akım alanı olmak üzere, momentumun korunumu denklemleri (1)'de, kütle korunumu denklemleri (2)'de verilmiştir (Teng et al., 2017).

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial Q^2}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

1B Saint-Venant denklemleri, yine Saint-Venant denklemleri olarak bilinen 2B sığ su denklemlerinin basitleştirilmiş halidir. (1) ve (2) numaralı denklemlerin analitik çözümü yoktur, bu denklemlerin çözümünde her hesap süresi için Q ve h tahminleri yapan numerik metotlar kullanılmaktadır.

Basit ve pratik olmasına rağmen, 1B modeller sadece tek yönlü bir hesaplama yapar, bu da kesitler arasında boşluklara neden olur. Bu nedenle, 1B modeller, karmaşık akışa sahip sistemler ile engebeli arazilerin modellenmesinde yetersiz kalmaktadır (Huthoff, Remo, & Pinter, 2015). 1B modeller, sürekli akım analizi için daha uygundur ve modelleme öncesi ve sonrası düzenlemeler yapılarak çoğunlukla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile uyumlu hale getirilmektedir (Bates & De Roo, 2000; Cesur, 2007; Zerger & Wealands, 2004).

2.2.2. 2B Modeller

2B modeller, üçüncü boyut olan su derinliğinin diğer iki boyuta kıyasla oldukça sığ olduğu varsayımıyla taşkın yatağında meydana gelen akımı iki boyutlu bir alan olarak kabul ederler (Roberts, Nielsen, Gray, & Sexton, 2015). Çoğu yaklaşım, bir düzlemde kütle ve momentum korunumunu temsil eden ve Navier-Stokes denklemlerinin derinlik ortalaması alınarak elde edilebilen iki boyutlu sığ su denklemlerini çözer. Denklemler (3), (4) ve (5)'te verilmiştir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hu^2 + \frac{1}{2} gh^2 \right) = 0 \quad (5)$$

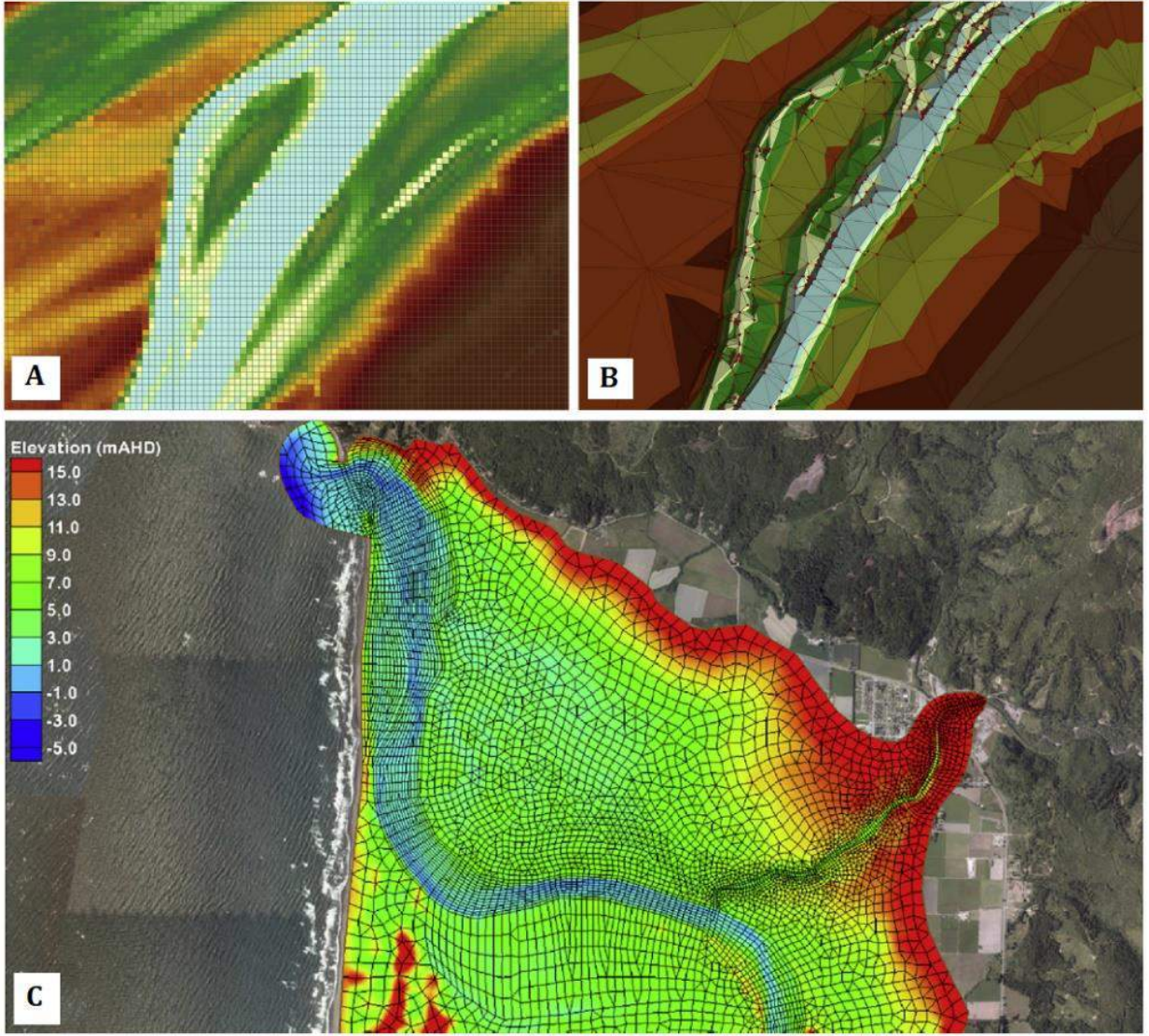
Denklemlerde x ve y iki uzamsal boyutu, 2B vektörü (u , v) ise ortalama yatay hızı göstermektedir. 1B Saint-Venant denklemlerinde olduğu gibi, 2B sığ su denklemlerinin de analitik çözümleri yoktur. Denklemlerin çözümünde kullanılmak üzere çeşitli cebirsel şemaları baz alan modeller geliştirilmiştir. Bu modeller sayısal ayrıklaştırma yaklaşımlarına bağlı olarak sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sonlu hacim yöntemleri olarak

sınıflandırılabilir. Zamana göre ayrıklaştırma yapan modeller kapalı (implicit) ve açık (explicit) modellerdir. Mekansal gösterim açısından bu modeller yapılandırılmış ağ (dikdörtgen örgü), yapılandırılmamış ağlar (üçgen ağlar) ve en son, Şekil 1'de

gösterildiği gibi esnek ağlar kullanabilmektedir. 2B hidrodinamik modeller, taşkın yayılım haritalarının oluşturulmasında ve taşkın risklerinin tahmininde en yaygın kullanılan modellerdir (Teng et al., 2017).

Tablo 1. Taşkın modellemesinde kullanılan bazı modeller ve model geliştiricileri

Geliştirici	1B	2B	1B-2B	3B	Bilgiler
Ambiental	-	Flowroute-i	-	-	Ticari
ANSYS	-	-	-	CFX, Fluent	Ticari
Avustralya Ulusal Üniversitesi ve Avusturya Yer Bilimleri	-	ANUGA Hydro	-	-	Açık erişimli
BMT WBM	TUFLOW Classic 1D	TUFLOW Classic, 2D TUFLOW GPU, TUFLOW FV	TUFLOW Classic	TUFLOW FV	Ticari
Bristol Üniversitesi	-	LISFLOOD-FP	LISFLOOD-FP	-	Araştırma amaçlı
California Üniversitesi	-	BreZo	-	-	Araştırma amaçlı
Cardiff Üniversitesi	FASTER	DIVAST DIVAST-TVD	-	-	Araştırma amaçlı
CH2M Hill	Flood Modeller Pro 1D solvers	Flood Modeller Pro 2D Solvers	Flood Modeller Pro	-	Ticari
CSIRO	-	-	SPM	-	Araştırma amaçlı Ticari
DELTARES	SOBEK Suite	SOBEK Suite, DELFT3D	SOBEK Suite	DELFT3D	(DELFT3D açık erişimli)
DHI	MIKE 11, MIKE HYDRO River	MIKE 21	MIKE FLOOD	MIKE 3	Ticari
Electricite De France	MASCARET	TELEMAC 2D	-	TELEMAC 3D	Açık erişimli
Exeter Üniversitesi	SIPSON	UIM	UIM - SIPSON	-	Araştırma amaçlı
FLO-2D Software, Inc.	-	FLO-2D	-	-	Ticari
Innovyze	InfoWorks RS	InfoWorks 2D	InfoWorks ICM	-	Ticari
JBA	-	JFLOW	-	-	Ticari
Kyushu Üniversitesi	-	-	-	Flip3D	Açık erişim
Maxon	-	-	-	Cinema 4D	Ticari
Münih Teknik Üniversitesi ve ETH Zürih	-	-	-	MantafLOW	Açık erişim
Next Limit	-	-	-	Real Flow	Ticari
Nottingham Üniversitesi	-	TRENT	TRENT	-	Araştırma amaçlı
Red Giant	-	-	-	Psunami	Ticari
Scientific Software Group	-	AquaDyn	-	-	Ticari
Svasek Hydraulics	-	Finel 2D CaMa-Flood	-	Finel 3D	Ticari
Tokyo Üniversitesi	-	(Global Ölçekli)	-	-	Araştırma amaçlı
US Army Corps of Engineers	HEC-RAS	HEC-RAS 2D	-	-	Ücretsiz
XP Solutions	-	XP 2D	XPSWMM, XPSTORM	-	Ticari



Şekil 1. 2B modellerde kullanılan farklı örgü yapıları; A) Yapılandırılmış örgü, B) Yapılandırılmamış örgü, C) Esnek örgü (Teng et al., 2017).

2.2.3. 3B Modeller

Taşkın modellemesinde çoğu taşkın yatağının mekansal ölçeğinin 1B ya da 2B çözümü yapılmasına olanak vermesi bununla beraber sığ su yaklaşımının özellikle modelin üretilmesi ve doğrulanması aşamalarında mevcut olan veri türü ve kalitesi göz önüne alındığında yeterli olması nedeniyle nehir akımının 3B olarak çözülmesi gereksiz bulunmuştur (Alcrudo, 2004). Bununla birlikte baraj yıkılmaları, hidrolik yapıların üzerinde meydana gelen akımlar ve tsunamiler nedeniyle meydana gelen taşkınlarda dikey türbülans, vortisite hesabı önemlidir. Bu nedenle, dikey akım özelliklerinin gösterilmesine olanak sağlamak için 3B modeller geliştirilmiştir (Monaghan, 1994; Ye & McCorquodale, 1998). Bu modellerin bazıları yatay akımı 2B sığ su denklemleriyle çözer ve dikey katmanlardaki hızı modellemek için yarı-3B bir arayüz içerir (Casulli & Stelling, 1998). 3B modeller, denklemler boyutlu Navier-Stokes denklemlerinden türetilmiştir (Denklem 6-7).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \Delta u + \frac{1}{\rho} \nabla p = g + \mu \nabla \cdot \nabla u \quad (6)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (7)$$

Denklemlerde, u ; hız, ρ ; sıvı yoğunluğu, p ; basınç, g ; yerçekimi ivmesi, μ ; kinematik viskoziteyi ifade etmektedir. Denklem (6)'da, Newton'un ikinci hareket yasası olan $F=m \cdot a$ denklemi akışkan hareketine uygulanmaktadır. Denklem (7) ise akışkan yoğunluğunun sabit olduğu varsayımına dayanmaktadır.

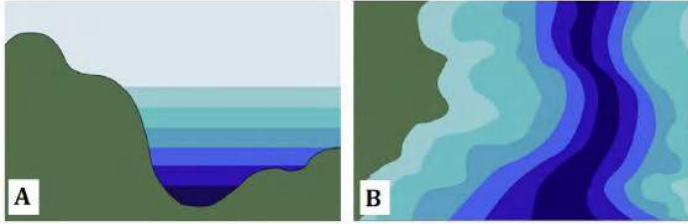
2.3. Fiziki Temeli Olmayan Basitleştirilmiş Modeller

Taşkın tahmininde kullanılabilen ancak hidrodinamik model tanımına uymayan bazı çalışmalarda da 0B olarak tanımlanan taşkın modelleri de bulunmaktadır (Pender, 2006).

Bu modellerden bir tanesi "Hızlı Taşkın Yayılım Yöntemi (Rapid Flood Spreading Method-RFSM)"dir. Bu yöntem ile taşkın ön değerlendirmesi gerçekleştirilir, bu bağlamda çalışılan taşkın yatağı, topoğrafyadaki çukur bölgeleri ifade edecek biçimde elemanter parçalara ayrılır ve öncelikle çukur alanlar dolacak biçimde taşkın hacmi araziye yayılır (Lhomme, Sayers, Gouldby,

Wills, & Mulet-Marti, 2008). Kıyaslama çalışmaları (Néelz, S. & Pender, 2013), bu tip bir modelin hidrodinamik modellere kıyasla hesaplama maliyeti açısından net faydalar sağlayarak, nihai su altı dağıtımlarının yaklaşık tahminlerini üretebileceğini göstermektedir.

Basitleştirilmiş bir başka model, “düzlemsel yöntem” veya “küvet yöntemi” dir. Bu yöntem yüksek çözünürlüklü bir SYM ile sık aralıklarla oluşturulan bir dizi düzlemin kesiştirilmesiyle taşkın büyüklüğünü türetir ve su seviyesini/hacmini Şekil 2'de gösterildiği gibi taşkın büyüklüğüyle anında ilişkilendirir (Teng, Vaze, Dutta, & Marvanek, 2015).



Şekil 2. A) Taşkın büyüklüğünün profilde gösterimi, B) Taşkın büyüklüğünün planda gösterimi (Teng et al., 2017).

Dinamik etkilerin göz önüne alınmadığı bu yöntemler 1B hatta 2B modellere göre daha hızlı sonuç üretirler. Bu nedenle sadece maksimum taşkın kotunun gerekli olduğu büyük ölçekli uygulamalarda kullanılması uygundur.

3. Bulgular

Akım gözlem istasyonlarında ölçülen su seviyeleri veya akım değerleri taşkın tahminlerinde kullanılan temel bilgilerdir. Bu nedenle ampirik metotların kullanımı; istasyonların zamanla kapatılması yada ölçümlerde birebir insan gücüne ihtiyaç duyulması gibi sebeplerle giderek azalırken, yerini taşkınları havadan veya uzaydan gözlemlenebildiği diğer yöntemlere bırakmaktadır. Bu yöntemlerin tercih edilebilirliğini artıran temel olarak uzaktan algılama teknolojisindeki gelişmelerdir. Son on yılda radarlar ile uzaktan algılama, taşkın modellemesini desteklemek ve geliştirmek için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Kolay erişilebilen SWOT, ALOS, RADARSAT-2, Terra-SAR-X, COSMO-SkyMed ve Sentinel-1 gibi yeni uydular hızlı görüntü elde etme ve görüntüyü işlemede, daha yüksek kalite ve daha iyi çözünürlükle sonuçlar vermektedirler. Verilerden daha doğru ve büyük miktarda bilgi çıkarmak için çeşitli algoritmalar ile veri madenciliği gibi teknikler geliştirilmiştir.

İki uzaktan algılama ürünü olan SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) ve LiDAR (Laser Imaging Detection ve Ranging) sayısal yükseklik modelleri (SYM) hem hidrodinamik modeller hem de geniş kullanılabilirlikleri ve yüksek kaliteleri sayesinde basitleştirilmiş kavramsal modeller için topografik girdi olarak rutin olarak kullanılmaktadır (Bates, Horritt, Smith, & Mason, 1997; Martinis, Twele, & Voigt, 2009; Matgen et al., 2011; Mure-Ravaud et al., 2016; Pulvirenti, Chini, Pierdicca, Guerriero, & Ferrazzoli, 2011; Sanyal & Lu, 2004; G. Schumann, Bates, Horritt, Matgen, & Pappenberger, 2009; Smith, 1997; Ticehurst, Dutta, Karim, Petheram, & Guerschman, 2015). Bununla birlikte, uzaktan algılama ile taşkın yayılımı ve su seviyelerini belirlemede belirsizlikler bulunmaktadır ve bu belirsizliğin ölçülmesi son yıllarda uzaktan algılama araştırmalarının önemli bir unsuru haline gelmiştir (Stephens et al., 2012).

4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Taşkın nehir yatağında bulunan su miktarının çeşitli nedenlerle akarsu yatak kesitine sığamayarak, canlılara ve çevresindeki arazilere, zarar veren doğal bir afettir. Dünyada ve ülkemizde can ve mal kayıpları açısından tüm afetler arasında ikinci, meteorolojik afetler arasında ise ilk sırada yer almaktadır. Yaşamımızı etkileyen taşkınların maddi ve manevi zararlarını azaltmak için taşkını afet haline getiren mekanizmasının iyi bilinmesi ve taşkın meydana gelmeden önce yapılacak modellemelerle önlemler alınması gerekmektedir (Demir & Ülke Keskin, 2021).

Deneme ve yanılma ile elde edilmiş teorik yöntemler taşkın izleme ve afet sonrası değerlendirme için oldukça yeterli olsa da, baraj yıkılması, tsunamiler veya ani taşkınların etkilerini araştırmak için ayrıntılı akış dinamiklerini temsil etmek için hidrodinamik modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Basitleştirilmiş kavramsal modeller, iyi tanımlanmış kanallara sahip büyük bir taşkın yatağında olasılıklı taşkın riski değerlendirmesi ve çoklu senaryo modellemesi için daha çok tercih edilmektedirler. Taşkınların çevre ve insanlar üzerindeki etkisini anlamak, değerlendirmek ve tahmin etmek için taşkın modellerini geliştirmek, birleştirmek ve uygulamak en etkili yol olarak görülmektedir. Taşkın modelleyicileri, kendi modellerine aşırı uyumlu olmanın bağlayıcılığından kaçınmalı ve tamamen farklı bir alandan bile gelebilecek yeni fikirlere, yeni teknolojilere ve yeni fırsatlara her zaman entegre olma cesaretine ve bilgeliğine sahip olmaları gerekmektedir (Teng et al., 2017).

Sonuç olarak, geçen yüzyılda ve özellikle 1970'lerden bu yana, taşkın modellemesinde itici bir güçle önemli gelişmeler olmuştur. Çağın teknolojisi olan uydu görüntüleri, görüntü işleme teknikleri ve çok boyutlu modellerle taşkın modellemesinde gelişmeler artarak devam etmektedir. Taşkın modellemesinde en doğru ve gerçekçi model ise kullanıcının talebinin, hesaplama tekniğinin ve veri kalitesinin dengesi aranarak ancak gerçekleştirilebilir (Jakeman, Letcher, & Norton, 2006).

Bu çalışmada, taşkınların analiz edilmesinde kullanılan son teknoloji deneysel, hidrodinamik ve basit kavramsal modeller incelenmiş ve karşılaştırılmaktadır. Çalışmada taşkın modellemesinde yaşanan en son gelişmeler vurgulanarak, mevcut modellerin avantajları ve dezavantajları ortaya konmuştur.

Kaynakça

- Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E., & Rasmussen, J. (1986). An introduction to the European Hydrological System — Systeme Hydrologique Europeen, “SHE”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, 87(1–2), 61–77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90115-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90115-0)
- Alcrudo, F. (2004). *A State of the Art Review on Mathematical Modelling of Flood Propagation, IMPACT Project*.
- Apel, H., Thielen, A. H., Merz, B., & Blöschl, G. (2006). A probabilistic modelling system for assessing flood risks. *Natural Hazards*, 38(1–2), 79–100. <https://doi.org/10.1007/s11069-005-8603-7>
- Arduino, G., Reggiani, P., & Todini, E. (2005). Recent advances in flood forecasting and flood risk assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(4), 280–284. <https://doi.org/10.5194/hess-9-280-2005>
- Baker, W. H., Addams, H. L., & Davis, B. (2005). Critical Factors for Enhancing Municipal Public Hearings. *Public*

- Administration Review*, 65(4), 490–499. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2005.00474.x>
- Bates, P. ., & De Roo, A. P. . (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236(1–2), 54–77. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X)
- Bates, P. D., Horritt, M. S., Smith, C. N., & Mason, D. (1997). Integrating remote sensing observations of flood hydrology and hydraulic modelling. *Hydrological Processes*, 11(14), 1777–1795. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199711\)11:14<1777::AID-HYP543>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199711)11:14<1777::AID-HYP543>3.0.CO;2-E)
- Beden, N. (2019). *Cevizdere havzasının sayısal modelleme sistemlerine dayalı taşkın analizi ve taşkın zararlarının değerlendirilmesi*. O.M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Beven, K. (1989). Changing ideas in hydrology — The case of physically-based models. *Journal of Hydrology*, 105(1–2), 157–172. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90101-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90101-7)
- Bhuiyan, M. J. A. N., & Dutta, D. (2012). Analysis of flood vulnerability and assessment of the impacts in coastal zones of Bangladesh due to potential sea-level rise. *Natural Hazards*, 61(2), 729–743. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-0059-3>
- Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User’s Manual Version 5.0, (CPD-68A), 1–171. Retrieved from www.hec.usace.army.mil
- Casulli, V., & Stelling, G. S. (1998). Numerical Simulation of 3D Quasi-Hydrostatic, Free-Surface Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(7), 678–686. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:7\(678\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:7(678))
- Cesur, D. (2007). GIS as an information technology framework for water modeling. *Journal of Hydroinformatics*, 9(2), 123–134. <https://doi.org/10.2166/hydro.2007.008>
- Cunge, J. A., Holly, F. M., & Verwey, A. (1980). *Practical aspects of computational river hydraulics*. Boston: Pitman Advanced Publishing.
- Cunge, J. A., & Wegner, M. (1964). Intégration numérique des équations d’écoulement de barré de Saint-Venant par un schéma implicite de différences finies. *La Houille Blanche*, 50(1), 33–39. <https://doi.org/10.1051/lhb/1964002>
- de Saint-Venant, B. Saint-Venant, A.J.C. SAINT-VENANT, DE BARRÉ, AJC Saint-Venant, D. Barre, J. Saint-Cyr, Venant de Saint, A.J.C. SAINT-VENANT, J. S.-C. (1871). Théorie du mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et à l’introduction de marées dans leurs lits.
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2020). Obtaining the Manning Roughness with Terrestrial-Remote Sensing Technique and Flood Modeling using FLO-2D, a case study Samsun from Turkey. *Geofizika*. <https://doi.org/doi.org/10.15233/gfz.2020.37.9>
- Demir, Vahdettin, & Ülke Keskin, A. (2021). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149–162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- DHI. (2016a). *DHI (Danish Hydraulic Institute) MIKE11 a modelling system for rivers and channels Reference manual*.
- DHI. (2016b). *DHI (Danish Hydraulic Institute) MIKE21 flow model FM User Guide*.
- Dutta, D., Herath, S., & Musiak, K. (2006). An application of a flood risk analysis system for impact analysis of a flood control plan in a river basin. *Hydrological Processes*, 20(6), 1365–1384. <https://doi.org/10.1002/hyp.6092>
- Dutta, D., Teng, J., Vaze, J., Lerat, J., Hughes, J., & Marvanek, S. (2013). Storage-based approaches to build floodplain inundation modelling capability in river system models for water resources planning and accounting. *Journal of Hydrology*, 504, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.033>
- Fotovatikhah, F., Herrera, M., Shamshirband, S., Chau, K., Faizollahzadeh Ardabili, S., & Piran, M. J. (2018). Survey of computational intelligence as basis to big flood management: challenges, research directions and future work. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 12(1), 411–437. <https://doi.org/10.1080/19942060.2018.1448896>
- Gallegos, H. A., Schubert, J. E., & Sanders, B. F. (2009). Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. *Advances in Water Resources*, 32(8), 1323–1335. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.05.008>
- Huthoff, F., Remo, J. W. F., & Pinter, N. (2015). Improving flood preparedness using hydrodynamic levee-breach and inundation modelling: Middle Mississippi River, USA. *Journal of Flood Risk Management*, 8(1), 2–18. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12066>
- Isaacson, E., Stoker, J. J., & Troesch, A. (1958). Numerical Solution of Flow Problems in Rivers. *Journal of the Hydraulics Division*, 84(5), 1–18. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000220>
- Jakeman, A. J., Letcher, R. A., & Norton, J. P. (2006). Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models. *Environmental Modelling and Software*, 21(5), 602–614. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.01.004>
- Kalinina, A., Spada, M., Vetsch, D. F., Marelli, S., Whealton, C., Burgherr, P., & Sudret, B. (2020). Metamodeling for Uncertainty Quantification of a Flood Wave Model for Concrete Dam Breaks. *Energies*, 13(14), 3685. <https://doi.org/10.3390/en13143685>
- Karim, F., Dutta, D., Marvanek, S., Petheram, C., Ticehurst, C., Lerat, J., ... Yang, A. (2015). Assessing the impacts of climate change and dams on floodplain inundation and wetland connectivity in the wet–dry tropics of northern Australia. *Journal of Hydrology*, 522, 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.005>
- Katopodes, N. D., & Strelkoff, T. (1978). Computing Two-Dimensional Dam-Break Flood Waves. *Journal of the Hydraulics Division*, 104(9), 1269–1288. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0005062>
- Lhomme, J., Sayers, P., Gouldby, B., Wills, M., & Mulet-Marti, J. (2008). Recent development and application of a rapid flood spreading method. *Flood Risk Management: Research and Practice*, (October), 15–24. <https://doi.org/10.1201/9780203883020.ch2>
- Mahmood, K., Yevjevich, V. M., & Miller, W. A. (1975). *Unsteady flow in open channels*. Fort Collins, Colo. : Water Resources Publications, 1975. https://doi.org/https://www.vgls.vic.gov.au/client/en_AU/VGLS-public/search/detailnonmodal?qu=Channels+%28Hydraulic+engineering%29&d=ent%3A%2F%2FSD_ILS%2F0%2FSD_ILS%3A82999%7EILS%7E0&ic=true&ps=300
- Marriott, S. (1992). Textural analysis and modelling of a flood deposit: River severn, U.K. *Earth Surface Processes and*

- Landforms*, 17(7), 687–697.
<https://doi.org/10.1002/esp.3290170705>
- Martin, C. S., & DeFazio, F. G. (1969). Open-Channel Surge Simulation By Digital Computer. *Journal of the Hydraulics Division*, 95(6), 2049–2070.
<https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0002204>
- Martin, C. S., & Zovne, J. J. (1971). Finite-Difference Simulation of Bore Propagation. *Journal of the Hydraulics Division*, 97(7), 993–1010.
<https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0003043>
- Martinis, S., Twele, A., & Voigt, S. (2009). Towards operational near real-time flood detection using a split-based automatic thresholding procedure on high resolution TerraSAR-X data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(2), 303–314. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-303-2009>
- Matgen, P., Hostache, R., Schumann, G., Pfister, L., Hoffmann, L., & Savenije, H. H. G. (2011). Towards an automated SAR-based flood monitoring system: Lessons learned from two case studies. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(7–8), 241–252. <https://doi.org/10.1016/J.PCE.2010.12.009>
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). Review article “assessment of economic flood damage.” *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(8), 1697–1724. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- Merz, Bruno, & Thieken, A. H. (2005). Separating natural and epistemic uncertainty in flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 309(1–4), 114–132.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.015>
- Mokhtari, F., Soltani, S., & Mousavi, S. A. (2017). Assessment of Flood Damage on Humans, Infrastructure, and Agriculture in the Ghamsar Watershed Using HEC-FIA Software. *Natural Hazards Review*, 18(3), 04017006.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000248](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000248)
- Monaghan, J. J. (1994). Simulating Free Surface Flows with SPH. *Journal of Computational Physics*, 110(2), 399–406.
<https://doi.org/10.1006/jcph.1994.1034>
- Moulinec, C., Denis, C., Pham, C.-T., Rougé, D., Hervouet, J.-M., Razafindrakoto, E., ... Gu, X.-J. (2011). TELEMACH: An efficient hydrodynamics suite for massively parallel architectures. *Computers & Fluids*, 51(1), 30–34.
<https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2011.07.003>
- Mure-Ravaud, M., Binet, G., Bracq, M., Perarnaud, J. J., Fradin, A., & Litrico, X. (2016). A web based tool for operational real-time flood forecasting using data assimilation to update hydraulic states. *Environmental Modelling and Software*, 84, 35–49.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2016.06.002>
- Néelz, S., & Pender, G. (2013). *Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages*.
- O’CONNOR, J. E., & BAKER, V. R. (1992). Magnitudes and implications of peak discharges from glacial Lake Missoula. *Geological Society of America Bulletin*, 104(3), 267–279.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1992\)104<0267:MAIOPD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1992)104<0267:MAIOPD>2.3.CO;2)
- Pender, G. (2006). Briefing: Introducing the Flood Risk Management Research Consortium. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 159(1), 3–8. <https://doi.org/10.1680/wama.2006.159.1.3>
- PIZZUTO, J. E. (1987). Sediment diffusion during overbank flows. *Sedimentology*, 34(2), 301–317.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1987.tb00779.x>
- Prakash, M., Rothauge, K., & Cleary, P. W. (2014). Modelling the impact of dam failure scenarios on flood inundation using SPH. *Applied Mathematical Modelling*, 38(23), 5515–5534. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.03.011>
- Pulvirenti, L., Chini, M., Pierdicca, N., Guerriero, L., & Ferrazzoli, P. (2011). Flood monitoring using multi-temporal COSMO-SkyMed data: Image segmentation and signature interpretation. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 990–1002.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.002>
- René, J.-R., Djordjević, S., Butler, D., Mark, O., Henonin, J., Eisum, N., & Madsen, H. (2015). A real-time pluvial flood forecasting system for Castries, St. Lucia. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S269–S283.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12205>
- Roberts, S., Nielsen, O., Gray, D., & Sexton, J. (2015). ANUGA User Manual, (May), jg.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12401.99686>
- Sanyal, J., & Lu, X. X. (2004). Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: A Review. *Natural Hazards* 2004 33:2, 33(2), 283–301.
<https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000037035.65105.95>
- Schumann, G., Bates, P. D., Horritt, M. S., Matgen, P., & Pappenberger, F. (2009). Progress in integration of remote sensing-derived flood extent and stage data and hydraulic models. *Reviews of Geophysics*, 47(4).
<https://doi.org/10.1029/2008RG000274>
- Schumann, G. J.-P., Bates, P. D., Horritt, M. S., Matgen, P., & Pappenberger, F. (2009). Progress in integration of remote sensing derived flood extent and stage data and hydraulic models. *Reviews of Geophysics*, 47.
- Smith, L. C. (1997). Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: A review. *Hydrological Processes*, 11(10), 1427–1439.
[https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1085\(199708\)11:10<1427::aid-hyp473>3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1085(199708)11:10<1427::aid-hyp473>3.0.co;2-s)
- Stelling, G. S., & Verwey, A. (2005). Numerical Flood Simulation. In *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa025a>
- Stephens, E. M., Bates, P. D., Freer, J. E., & Mason, D. C. (2012). The impact of uncertainty in satellite data on the assessment of flood inundation models. *Journal of Hydrology*, 414–415, 162–173.
<https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2011.10.040>
- Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling and Software*, 90, 201–216.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>
- Teng, J., Vaze, J., Dutta, D., & Marvanek, S. (2015). Rapid Inundation Modelling in Large Floodplains Using LiDAR DEM. *Water Resources Management*, 29(8), 2619–2636.
<https://doi.org/10.1007/S11269-015-0960-8>
- Ticehurst, C., Dutta, D., Karim, F., Petheram, C., & Guerschman, J. P. (2015). Improving the accuracy of daily MODIS OWL flood inundation mapping using hydrodynamic modelling. *Natural Hazards*, 78(2), 803–820.
<https://doi.org/10.1007/S11069-015-1743-5>
- Vacondio, R., Rogers, B. D., Stansby, P. K., & Mignosa, P. (2012). SPH Modeling of Shallow Flow with Open Boundaries for Practical Flood Simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(6), 530–541.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000543](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000543)

- Vojtek, M., & Vojteková, J. (2016). Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1973–1992. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1166874>
- Ye, J., & McCorquodale, J. (1998). Simulation of Curved Open Channel Flows by 3D Hydrodynamic Model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124, 687–698.
- Zerger, A., & Wealands, S. (2004). Beyond Modelling: Linking Models with GIS for Flood Risk Management. *Natural Hazards*, 33(2), 191–208. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000037040.72866.92>
- Zhang, N., Song, D., Zhang, J., Liao, W., Miao, K., Zhong, S., ... Huang, C. (2019). The impact of the 2016 flood event in Anhui Province, China on infectious diarrhea disease: An interrupted time-series study. *Environment International*, 127, 801–809. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.063>



Çok Ölçekli Eğrilik Sınıflandırmasının CUDA ile Hızlandırılması

Mustafa Oğuz¹, Sercan Demirci^{2*}

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5168-3647), mustafa.oguz@bil.omu.edu.tr

^{2*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6739-7653), sercan.demirci@bil.omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012445)

ATIF/REFERENCE: Oğuz, M. & Demirci, S. (2021). Çok Ölçekli Eğrilik Sınıflandırmasının CUDA ile Hızlandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1022-1027.

Öz

Günümüzde mekânsal ölçüm teknolojileri gelişerek büyümektedir. Yeni teknolojiler ile birlikte çok daha hızlı ve doğru ölçümler yapmak mümkün hale gelmiştir. Hata oranlarının azalması, yanında verinin yoğunluğunun artması sorunu getirmiştir. Daha yoğun bir veri her ne kadar daha doğru sonuç verse de işlem süreçlerinde dezavantaja neden olmuştur. Verilerin işleme sürelerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Bunlarla birlikte günümüzde paralel programlama üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Paralel programlama işlemci üzerinde yapılabileceği gibi ekran kartı üzerinde de yapmak mümkündür. Ekran kartları üzerinde paralel programlama yapmak için kütüphaneler mevcuttur. Bunlardan en popülerleri çok iyi bilinen Nvidia CUDA kütüphanesidir. CUDA kütüphanesi ile CUDA çekirdekleri üzerinde paralel programlama yapmak mümkün hale gelmiştir. Yapılan çalışmada yer sınıflandırma algoritması üzerinde hızlanma elde edilmesi hedeflenmiştir. Yer sınıflandırma algoritması olan MCC algoritması CUDA çekirdekleri üzerine dağıtılmış ve paralel hesaplanması sağlanmıştır. Çalışma sonunda 21 kat hızlanma elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Filtreleme algoritmaları, Nokta bulutu, CUDA, Paralel programlama, İnce plaka spline, Çok ölçekli eğrilik sınıflandırması.

Accelerating Multiscale Curvature Classification with CUDA

Abstract

Today, spatial measurement technologies are growing and developing. With new technologies, it has become possible to make much faster and more accurate measurements. Along with the decrease in error rates, the increase in the density of the data has brought the problem. Although a denser data gives more accurate results, it has caused a disadvantage in the processing steps. There has been a great increase in the processing times of the data. Along with these, studies on parallel programming are carried out today. Parallel programming can be done on the processor as well as on the graphics card. Many libraries are available on the internet for parallel programming on graphics cards. The most popular of these is the well-known Nvidia CUDA library. Parallel programming on CUDA cores has become possible with the CUDA library. In the study, it is aimed to achieve acceleration on the location classification algorithm. The MCC algorithm, which is a location classification algorithm, is distributed on CUDA cores and its parallel calculation is provided. At the end of the study, 21 times acceleration was obtained.

Keywords: Filtering Algorithms, Point cloud, CUDA, Parallel programming, Thin-plate spline, Multiscale Curvature Algorithm.

* Sorumlu Yazar: sercan.demirci@bil.omu.edu.tr

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte mekansal ölçümlerde kullanılmak için farklı teknolojiler gelişmiştir. Gelişen teknolojiler arasında hiç şüphesiz ki en popüler Lidar teknolojisidir. Bu teknoloji günümüzde en çok tercih edilen mekansal ölçüm teknolojisidir. 3 boyutlu olan neredeyse bütün nesnelere Lidar ile taranabilmektedir. Lidar cihazına göre bu nesnelere büyüklükleri ve ölçülecek olan nesneye göre Lidar cihazının özellikleri değişiklik göstermektedir.

Lidar verilerinden Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) çıkarımında filtreleme algoritmaları büyük önem arz etmektedir (Vosselman ve Maas, 2010). SYM filtreleme işlemlerini 4 farklı şekilde kategorize etmiştir. Bahsedilen algoritmalar; yüzey tabanlı filtreleme, morfolojik filtreleme, segmentasyon tabanlı filtreleme ve aşamalı düzensiz üçgen ağı (TIN) filtrelemeleridir.

Sınıflandırma algoritmaları arasında avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Sınıflandırma algoritmalarında genellikle yüzey tabanlı filtreleme algoritmaları kullanılmaktadır. Eğimi fark etmeksizin bir çok arazi koşulunda geçerli sonuçlar vermektedir. Buna karşılık arazinin çoğu detayı korunduğu için küçük nesnelere sınıflandırılmasında hatalara neden olabilmektedir (Mongus ve Zalik, 2014).

Yüzey tabanlı sınıflandırma algoritmasının bu sorunlarına karşılık morfoloji tabanlı sınıflandırma algoritmaları geliştirilmiştir (Keçi vd., 2003). Morfolojik sınıflandırma algoritmaları, yüzey tabanlı sınıflandırma algoritmalarının aksine, arazinin morfolojik ayrıntılarının korunmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte segmentasyon tabanlı algoritmalar, birbirinden farklı boyutlardaki ve şekillerdeki nesnelere algılamak için farklı özellikleri kullanmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı bahsedilen algoritmalar şehir bölgelerinin sınıflandırılması için uygundur.

Tüm bunlara karşılık yukarıda ki algoritmalar dağıntık lazer darbeleri yüzünden sık ormanlık alanlarda hatalara neden olabilmektedir (Chen vd., 2017). TIN algoritması, genel olarak doğruluk açısından diğer birçok sınıflandırma algoritmasından daha başarılı sonuçlar vermektedir (Sithole ve Vosselman, 2004). Ancak TIN algoritması dik yamaçlar gibi süresiz arazilerin tespit edilmesinde zorlanmaktadır (Chen vd., 2016).

Lidar verileri ilk oluşturulduklarında ham veridirler. Verinin kullanılabilmesi için anlamlandırılması gerekmektedir. Raw veri çeşitli yöntemler kullanılarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma, yapılan çalışmaya göre değişiklik göstermektedir. Temelde yer ve yer olmayan olarak sınıflandırılabilir gibi, yüksekliklerine göre ağaçlar, otlar, binalar ve özel bölgeler de sınıflandırılabilir.

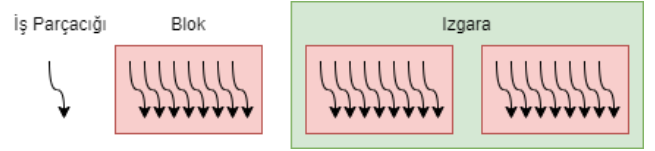
Lidar ölçümleri yerden ve havadan olmak üzere 2 ayrı kategoride ele alınabilmektedir. Yer Lidar taramaları genellikle bir binayı dışarıdan taramak için kullanılmaktadır. Ancak aynı şekilde binanın içine konumlandırılması halinde binanın içi de yüksek çözünürlükle taranabilmektedir. Lidar tekniği ve cihazı küçüldükçe binaya oranla daha küçük nesnelere bu teknik ile taranabilmektedir. Yer Lidar ile aynı zamanda sokakları, Arkeolojik alanlar, yol-köprü gibi tarihi veya inşaat yapıları, maden sahaları, enerji nakil hatları da taranabilmektedir.

Diğer bir Lidar ölçüm şekli ise havadan ölçümdür. Bu ölçümde Lidar cihazı bir sabit kanat veya döner kanata monte edilmektedir. Ölçüm yapılacak alan üzerinde rota

belirlenmektedir. Bu rotada hareket eden hava aracı ile birlikte Lidar cihazı alanın havadan 3 boyutlu verisini üretmektedir.

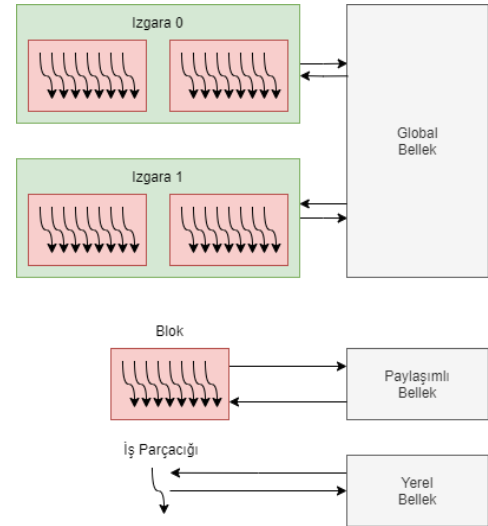
CUDA Nvidia tarafından geliştirilen paralel programlama kütüphanesidir. CUDA ile paralelleştirilmiş problem Nvidia ekran kartlarında hesaplanabilecek şekilde kodlanabilmektedir. Ama öncelikli olarak problemin paralelleştirmeye uygun olması gerekmektedir. Paralleleştirilen problem threadler arasında eş bir şekilde dağıtılmakta ve hesaplanması sağlanmaktadır. Bu sayede tek thread yapılan bir işleme göre kat be kat hızlanma elde edilmektedir.

CUDA ile programlama yapabilmek için hiyerarşik düzenlerini bilmek gerekmektedir. Thread ve Bellek hiyerarşisi olmak üzere 2 hiyerarşi bulunmaktadır. Öncelikle Thread hiyerarşisini ele almak gerekirse Şekil 1'de gösterildiği gibi genelden özele, öncelikle Izgara gelmektedir. Izgara'ları ise Blok'lar oluşturmaktadır. Blok'lar ise İş Parçacıkları ile oluşturulmaktadır.



Şekil 1. Thread Hiyerarşisi

Aynı şekilde bellek hiyerarşisinde Şekil 2'de gösterildiği gibi genelden özele, öncelikle Izgara'ya düşen Global Bellek gelmektedir. Izgara'ları oluşturan Blok'ların her birine ise Paylaşımlı Bellek'ler düşmektedir. Ve son olarak Blok'ları oluşturan her bir İş Parçacığına ise Yerel Bellek'ler düşmektedir.

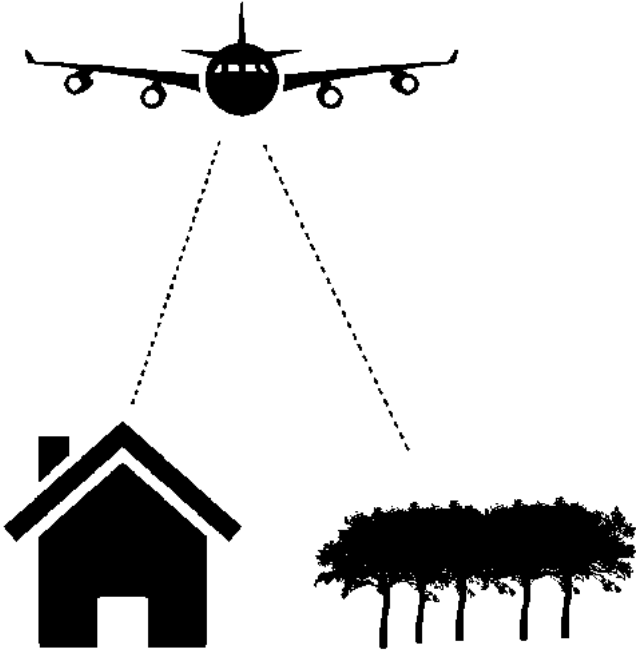


Şekil 2. Bellek Hiyerarşisi

2. Materyal ve Yöntem

Lidar cihazından çıkan lazerin bir nesneye çarpması sonucu o çarpan yerin koordinatları elde edilmektedir. Birden fazla lazer demeti bir yüzeye çarpması sonucunda ise birden fazla yerin koordinatı elde edilmektedir. Yüzeye çarpma sonucu oluşan her

bir koordinata ise nokta denilmektedir. Birden fazla nokta bir araya gelerek Nokta Bulutunu oluşturmaktadır (Otepka vd., 2013). Şekil 3'te hava lidar örneği verilmiştir.



Şekil 3. Hava Lidar

2.1. Materyal

2.1.1. Sınıflandırma

Lidar cihazından çıkan lazer demetlerinin oluşturduğu nokta bulutu haritaları ilk aşamada ham veridirler. 3 boyutlu olarak bir mekanı gösterebilmektedirler ancak daha fazla özellik taşımamaktadırlar. Bu verilerin anlaşılması için sınıflandırılması gerekmektedir. Sınıflandırma en temelde yer ve yer olmayan olarak yapılabileceği gibi daha spesifik şekilde bina, ağaç, otsu bitki vb. şekillerde de sınıflandırma yapılabilmektedir (Meng vd., 2019). Bu çalışmada nokta bulutu verileri yer ve yer olmayan şeklinde sınıflandırılacaktır.

2.1.2. İnce Plaka Spline

İnce plaka spline, verileri düzleştirme için spline tabanlı bir interpolasyon tekniğidir. Bu yöntem sayesinde verilen tüm noktalardan geçen pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. İnce plaka spline'ı fiziksel olarak metal bir levhanın bükülmesine benzetilebilmektedir. Metal levhanın bükülmeye karşı direnci olduğu gibi ince plaka spline'larının da bükülmeye karşı dirençleri bulunmaktadır. İnce plaka spline adını tam olarak ince metal levhadan almaktadır. İnce metal levhalara uygulanacak minimum kuvvete karşı istenilen şeklin elde edilmesi için kullanıldıklarından bu şekilde adlandırılmışlardır (Sibson ve Stone, 1991). Bu yöntemin sağladığı interpolasyon ile daha pürüzsüz bir yüzey elde etmek mümkün olmaktadır.

2.1.3. Çok Ölçekli Eğrilik Sınıflandırması

Çok ölçekli eğrilik sınıflandırmasının öncelikli amacı sınıflandırılmamış ham nokta bulutu verilerinin yer ve yer olmayan olmak üzere sınıflandırılmasıdır. Bunu mümkün olduğunca yüksek doğrulukla yapmayı amaçlamaktadır. Bu

nedenle sınıflandırma yaparken ince plaka spline interpolasyonundan yararlanmaktadır.

Lidar verileri farklı formatlarda şifrelenilmekte veya sıkıştırılabilmektedirler. Ticari kar amaçlı yazılımlar bunu kendi yazılımları dışında kullanılmaması için yapmaktadır. Çok ölçekli eğrilik sınıflandırmasının avantajı ise farklı Lidar formatlarının desteklenmesidir. Gereksinim olarak sadece x, y ve z eksenlerine ihtiyaç duymaktadır.

Bir diğer özelliği ise sınıflandırma işleminin tam dinamik olmasıdır. Diğer filtreleme ve sınıflandırma algoritmaları kullanıcının belli aşamalarda elle müdahale etmesine ihtiyaç duymaktadır. İşlem sırasında herhangi bir girdiye, düzenlemeye, elle müdahaleye gerek duymadan tüm işlem süreci otomatik bir şekilde ilerlemektedir (Evans ve Hudak, 2007). Bu çalışmada çok ölçekli eğrilik sınıflandırma algoritmasından faydalanılmıştır.

2.1.4. CUDA Mimarisi

GPU'lar CPU'lara oranla çok sayıda Arithmetic Logic Unit (ALU) barındırırlar. Aynı zamanda GPU'lar CPU'lara oranla içlerinde çok sayıda önbellek barındırırlar. Fakat bunun dezavantajı ise önbellek boyutlarının oldukça düşük olmasıdır. Önbellek sayısının fazla olması ve çekirdeklere yakın olması problemin çekirdeklere paylaşılması sırasında belleklerden çok daha hızlı veri okunup yazılabileceği anlamına gelmektedir (Garland vd., 2008). Ancak aynı zamanda boyutlarının düşük olması nedeniyle işlenecek ve bellekte kullanılacak olan verilerin oldukça akıllı bir şekilde tahsis edilmesi gerekmektedir. GPU programlamanın en temel problemlerinden biri de budur.

Herşeyden önce problem paralelleştirilmektedir. Daha sonrasında paralelleştirilmiş problem için gerek duyulan iş parçacığı sayısı hesaplanmaktadır (Cook, 2012). Ardından problem bu iş parçacıklarına dağılmaktadır. Ve son olarak iş parçacıkları tarafından problem hesaplanmaktadır.

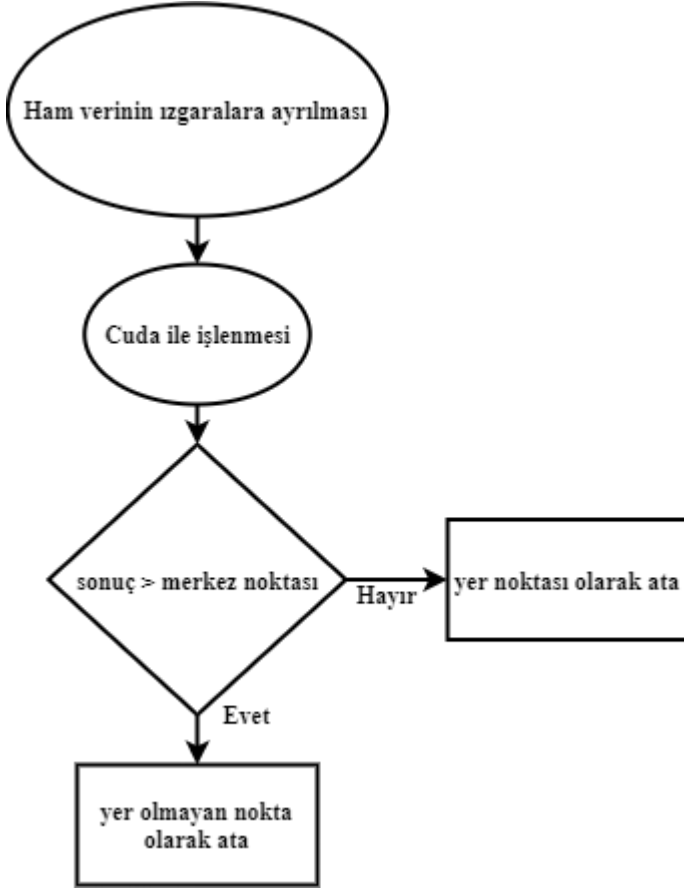
Tüm dağılımlar yapıldıktan ve tüm bellekler tahsis edildikten sonra artık GPU çalışmaya hazır bulunmaktadır. Bu noktada CPU'dan gelecek tek bir komut ile birden fazla iş parçacığı, neredeyse aynı anda, üstlerine düşen hesaplamalarını yapmaktadırlar.

GPU'lar birden fazla İş Parçacığı, Blok ve Izgara barındırmaktadırlar (Soyata, 2018). İş Parçacıkları bir araya gelerek blok denilen yapıyı oluşturmaktadırlar. Bloklar bir araya gelerek ise Izgara denilen yapıyı oluşturmaktadırlar.

Block'ların ve iş parçacıklarının kendilerine has eşsiz birer ID'si bulunmaktadır. Bu ID'ler threadId ve blockIdx olarak isimlendirilmektedirler. Burda dikkat edilmesi gereken yapının 3 boyutlu olmasıdır. Yani threadIdx.x, threadIdx.y, threadIdx.z ile 3 farklı boyutta iş parçacığına erişilebilmektedir. Aynı zamanda blockIdx içinde blockIdx.x, blockIdx.y ve blockIdx.z ile 3 farklı boyutta blok'a erişilebilmektedir (Cheng vd., 2014).

2.2. Yöntem: CUDA ile İşleme

Öncelikle .las formatındaki dosya okunmaktadır. Okunan dosya ızgaralara ayrılmaktadır. Izgaralara ayrılan veri CUDA ile paralelleştirilerek işlenmektedir. Sonucunda elde edilen sonuç verisi ızgaraların merkez noktaları ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda Şekil 4'te gösterildiği gibi sonuç verisi merkez noktadan yüksek ise yer olmayan, düşük ise yer noktası olarak sınıflandırılmaktadır. Son olarak yeni .las dosyası kaydedilmektedir.

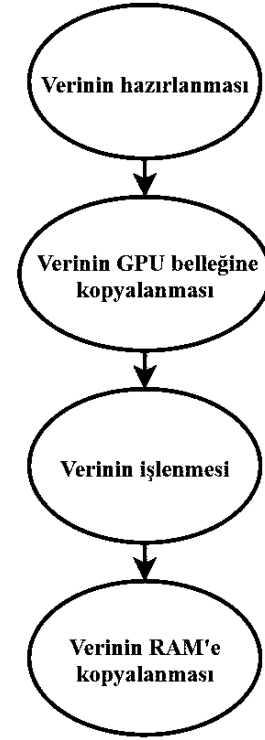


Şekil 4. Problem Akış Şeması

Proje kapsamında nokta bulutu verisinin sınıflandırılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda bahsedildiği üzere İnce plaka Spline'ı algoritması uygulanmıştır.

CPU ile çalışmada öncelikli olarak veri ızgaralara yani hücrelere ayrılmaktadır. Daha sonra bu hücrelerin merkez noktaları alınmaktadır. Ardından hücreler TPS algoritmasına girmektedir. TPS sonucu o hücrenin interpolasyon sonucu z verisi, yani yükseklik verisi hesaplanmaktadır. Ardından hücrenin merkez noktasının z değeri ile interpolasyon sonucu karşılaştırılmaktadır. Eğer sonuç hücrenin merkez noktasının z değerinden yüksekse o bölgedeki noktalar yer verisi olmayan olarak sınıflandırılmaktadırlar. Eğer düşükse yer verisi olarak sınıflandırılmaktadırlar. Bu şekilde doğrusal olarak bir döngü içinde bütün hücreler tek tek hesaplanmaktadır.

GPU ile çalışmada öncelikli olarak veri hücrelere ayrılmaktadır. Daha sonra bu hücreler 3 boyutlu matris haline getirilmektedir. Ardından 3 boyutlu matris GPU'ya allocate edilmekte ve kopyalanmaktadır. GPU içindeki TPS algoritması ile bu hücreler iş parçacıklarına dağılarak hesaplanmaktadır. Hesaplama sonuçları yine 3 boyutlu bir diziye aktarılarak tekrar RAM'e kopyalanmaktadır. Daha sonra CPU ile karşılaştırma işlemi yapılarak veri kaydedilmektedir. Şekil 5'te, CUDA ile işleme şeması ile akış detayları gösterilmiştir.



Şekil 5. CUDA ile İşleme Akışı

2.2.1. Verinin hazırlanması

Yukarıdaki genel anlatımda bahsedildiği gibi veri CPU'nun doğrusal çalışma mantığı gereği sırayla hücrelere ayrılmaktadır. Her bir hücre sırayla CPU'ya oturmaktadır. Proje kapsamında hücrelerin hepsine aynı anda erişebilmek için 3 boyutlu matris kullanılmıştır. Matrisin birinci boyutu hücreyi, ikinci boyutu hücre içindeki noktayı, üçüncü boyutu ise nokta içindeki x, y, z ve s değerlerini barındırmaktadır. S değeri ikinci matrisin boyutudur. GPU kodu içinde hazır bir fonksiyon kullanmak mümkün olmadığı için dizinin büyüklüğünü fonksiyon ile erişmekte mümkün değildir. Bundan dolayı üçüncü indis içinde fazladan bir veri ile bu görev gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Verinin GPU belleğine kopyalanması

Veri artık GPU'ya kopyalanmaya hazır hale gelmiştir. Ancak burada bir sorun vardır. GPU belleğinde yer tahsis etmek tek boyutlu matris ile mümkün olmaktadır. Yani tek boyutlu bir matrisi tahsis etmek için Cudamalloc komutu kullanılmaktadır. Ancak çalışmada kullanılan matris 3 boyutlu olduğu için farklı bir yaklaşım uygulanması gerekmiştir.

Öncelikli olarak noktalar tek tek tahsis edip kopyalanmıştır. Ardından bu tek boyutlu matrise ikinci matris oluşturup bağlanmıştır. Bu işlem cudaMemcpy fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Son olarak ikinci matrise üçüncü matris oluşturup bağlanmıştır. Sonuçta 3 boyutlu matrise tüm İş Parçacıkları tarafından aynı anda erişilebilir hale gelmiştir.

2.2.3. Verinin İşlenmesi

Kopyalanan veriyi işleyebilmek için öncelikle yeterli İş Parçacığı ve Blok sayısı bulunması gerekmektedir. Bunun için ufak bir hesap ile bunlar hesaplanmaktadır. Daha sonra ise artık

GPU kodu çalıştırılmaya hazır hale gelmektedir. GPU kodu çalıştırıldığı anda tüm İş Parçacıkları yaratılıp başlatılmaktadır. GPU fonksiyonu içinde iş parçacığı ID'si bulunması gerekmektedir. Bunun içinde yine ufak bir hesaplama yapılmaktadır. Ardından threadID ile matrisin birinci indisi ile hücrelere erişip 1 İş Parçacığı ile 1 hücrenin hesaplanmasını sağlanmaktadır.

2.2.4. Verinin Geri Kopyalanması

İşlenen veri fonksiyonun en sonunda 3 boyutlu bir matrise kopyalanmaktadır. Bütün İş Parçacıklarının hesaplaması bittikten sonra verinin tekrar RAM'e kopyalanması gerekmektedir. Bunun için benzer şekilde geri kopyalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Artık CPU'ya dönen kod, gelen sonuç verisi ile merkezleri karşılaştırır ve sınıflandırmayı yapmaktadır. Ve son olarak sonuçlar kaydedilmektedir.

3. Testler

3.1. Sık Bölge Testi

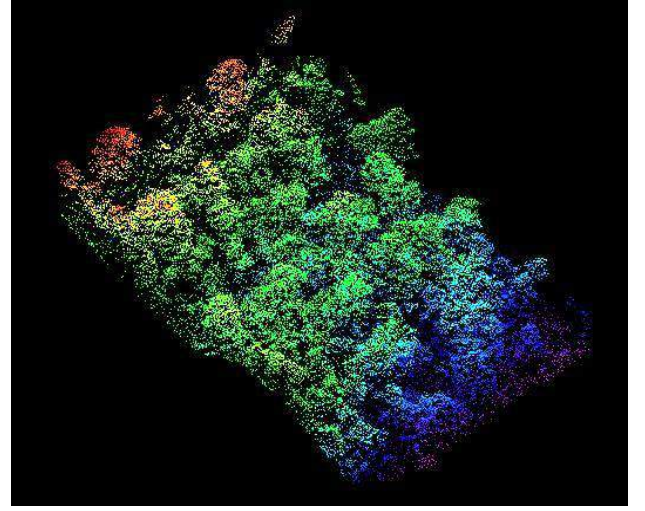
Bu testte uygulama sık ormanlık ve eğimli bir arazide test edilmiştir. Şekilde 6'da test edilen verinin ham hali gösterilmiştir. Şekil 7'de ise test edilen verinin filtrelenmiş hali gösterilmiştir. Şekil 8'de CPU ve GPU performansları karşılaştırılmıştır.

3.2. Seyrek Bölge Testi

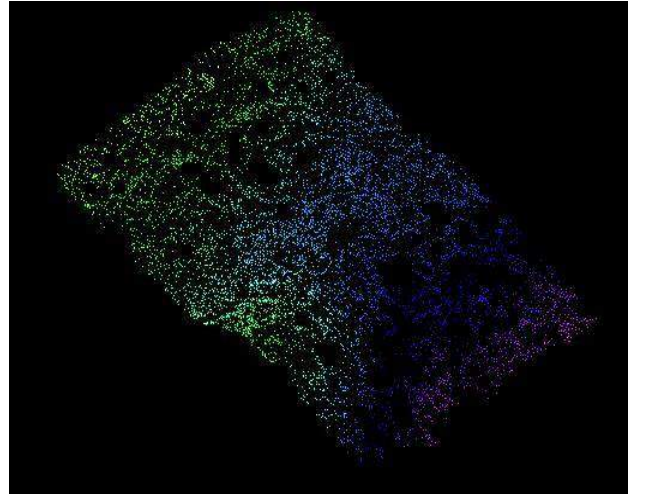
Bu testte ise uygulama daha az seyrek ve daha düz bir arazi üzerinde test edilmiştir. Şekil 9'da test edilen verinin ham hali gösterilmiştir. Şekil 10'da ise test edilen verinin filtrelenmiş hali gösterilmiştir. Şekil 11'de CPU ve GPU performansları karşılaştırılmıştır.

4. Sonuç

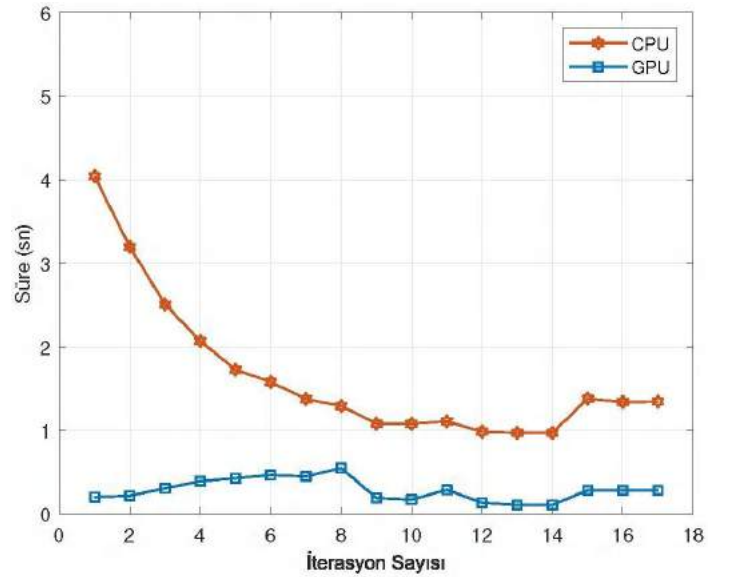
Bu çalışmada CPU üzerinde çalışmakta olan nokta bulutu sınıflandırma algoritması paralelleştirilmiştir. Parallelleştirilen problemin CUDA üzerinde uygulaması yapılmıştır. 2 farklı nokta bulutu üzerinde test yapılmıştır. Birincisinde daha sarp ve yoğun ağaçlıklı bir bölge seçilmiştir. İkincisinde ise daha düz ve seyrek bir arazi seçilmiştir. Bu 2 farklı nokta bulutu verisi üzerinde yapılan testler de görülmüştür ki CPU'ya oranla GPU üzerinde CUDA ile programlama ile 21 kat hızlanma elde edilmiştir. Sonuç verisinde CPU ile elde edilen sonuç ile GPU ile elde edilen sonuç arasında hiçbir fark veya kayıp yoktur. Tüm veriler sağlıklı bir şekilde korunmuştur. GPU, CPU ile aynı sonucu üretecek şekilde kodlanmıştır.



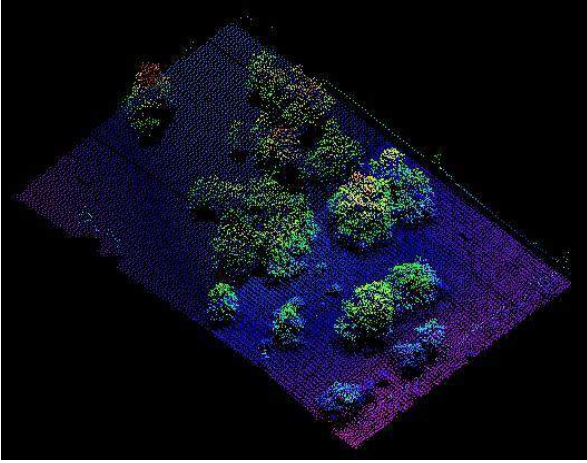
Şekil 6. Eğimli ve Sık Bölge



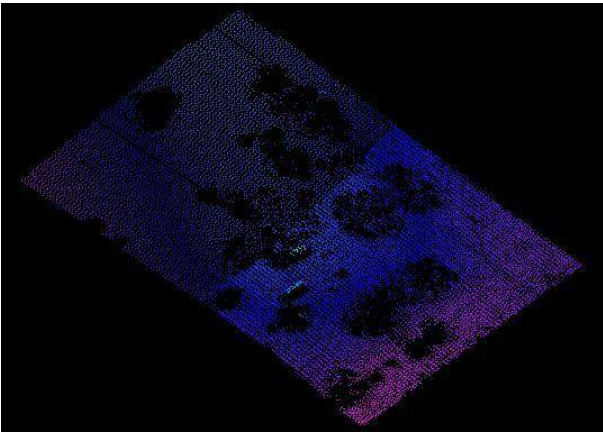
Şekil 7. Eğimli ve Sık Bölge Sonucu



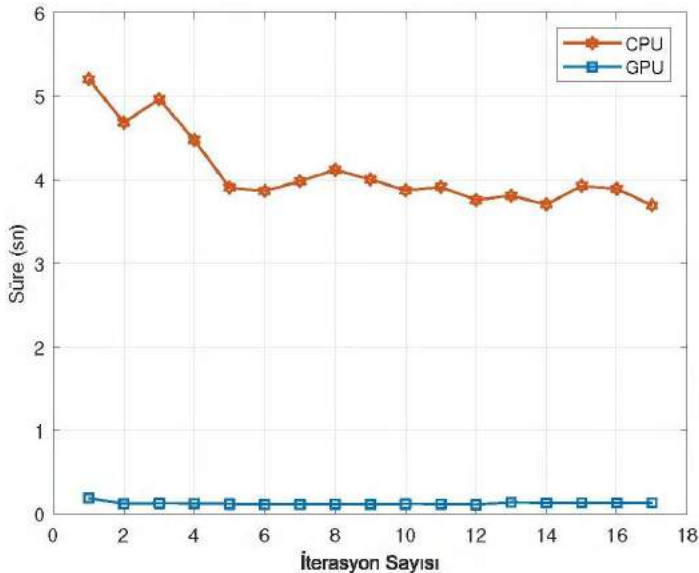
Şekil 8. Sık Bölge CPU ve GPU Performans Karşılaştırması



Şekil 9. Düz ve Seyrek Bölge



Şekil 10. Düz ve Eğimli Bölge Sonucu



Şekil 11. Seyrek Bölge CPU ve GPU Performans Karşılaştırması

Kaynakça

Chen, Q., Wang, H., Zhang, H., Sun, M., & Liu, X. (2016). A Point Cloud Filtering Approach to Generating DTMs for Steep Mountainous Areas and Adjacent Residential Areas. *Remote Sensing*, 8(1), 71. doi:10.3390/rs8010071

e-ISSN: 2148-2683

Chen Z, Gao B, Devereux B. State-of-the-Art: DTM Generation Using Airborne LIDAR Data. *Sensors*. 2017; 17(1):150. <https://doi.org/10.3390/s17010150>

Cheng, J., Grossman, M., & McKercher, T. (2014). *Professional CUDA C Programming* (1st ed.). Wrox.

Cook, S. (2012). *CUDA Programming: A Developer's Guide to Parallel Computing with GPUs* (Applications of Gpu Computing) (1st ed.). Morgan Kaufmann.

Garland, M., le Grand, S., Nickolls, J., Anderson, J., Hardwick, J., Morton, S., Phillips, E., Zhang, Y., & Volkov, V. (2008). *Parallel Computing Experiences with CUDA*. *IEEE Micro*, 28(4), 13–27. <https://doi.org/10.1109/mm.2008.57>

J. S. Evans and A. T. Hudak, "A Multiscale Curvature Algorithm for Classifying Discrete Return LiDAR in Forested Environments," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, no. 4, pp. 1029-1038, April 2007, doi: 10.1109/TGRS.2006.890412.

Keqi Zhang, Shu-Ching Chen, Whitman, D., Mei-Ling Shyu, Jianhua Yan, & Chengcui Zhang. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4), 872–882. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2003.810682>

Meng, X., Lin, Y., Yan, L., Gao, X., Yao, Y., Wang, C., & Luo, S. (2019). Airborne LiDAR Point Cloud Filtering by a Multilevel Adaptive Filter Based on Morphological Reconstruction and Thin Plate Spline Interpolation. *Electronics*, 8(10), 1153. <https://doi.org/10.3390/electronics8101153>

Mongus, D., & Zalik, B. (2014). Computationally Efficient Method for the Generation of a Digital Terrain Model From Airborne LiDAR Data Using Connected Operators. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7, 340-351.

Otepka, J., Ghuffar, S., Waldhauser, C., Hochreiter, R., & Pfeifer, N. (2013). Georeferenced Point Clouds: A Survey of Features and Point Cloud Management. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(4), 1038–1065. <https://doi.org/10.3390/ijgi2041038>

Sibson, R., & Stone, G. (1991). Computation of Thin-Plate Splines. *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*, 12(6), 1304–1313. <https://doi.org/10.1137/0912070>

Sithole, G., & Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(1–2), 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2004.05.004>

Soyata, T. (2018). *GPU Parallel Program Development Using CUDA* (Chapman & Hall/CRC Computational Science) (1st ed.). Chapman and Hall/CRC.

Vosselman, G., & Maas, H.-G. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. Dunbeath, Scotland: Whittles.



Global Optimizasyon Problemleri için Kaotik Bonobo Algoritması

Sümeyye Bazna^{1*}, Sinem Akyol²

^{1*} Adalet Bakanlığı, Adli Sicil ve İstatistik Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5286-1668), sumeyyebazna@gmail.com

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9308-3500), sakyol@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012463)

ATIF/REFERENCE: Bazna, S. & Akyol, S. (2021). Global Optimizasyon Problemleri için Kaotik Bonobo Algoritması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1028-1038.

Öz

Optimizasyon algoritmaları, global optimumdan feragat edilerek yaklaşık en iyi çözümü bulmayı amaçlayan algoritmalarlardır. Bu çalışmada incelenen Bonobo Optimizasyon (BO) Algoritması ise sürü zekasına dayanan bir algoritma olup, bonoboların sosyal davranışlarının ve üreme stratejilerinin matematiksel modellenmesine dayanmaktadır. Bonobolar, yaşadıkları topluluk içinde çeşitli büyüklük ve özelliklerde gruplar oluşturarak, farklı amaçlar için birbirlerinden ayrılıp bir süre sonra yeniden bir araya gelmektedirler. Bonoboların üreme stratejisi incelendiğinde rasgele çiftleşme, kısıtlayıcı çiftleşme, konsorsiyum ve grup dışı çiftleşme gibi dört farklı stratejiyi benimsedikleri görülmektedir. Bonoboların bu doğal davranışları çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılmıştır. BO'yu diğer sürü zekasına dayalı algoritmalarından ayıran en önemli özelliği ise arama ajanlarının güncelleme mekanizmaları ve bunlarla ilişkili parametreler ve çiftleşme ortaklarının seçim yöntemidir. Bu çalışmada BO incelenip, algoritmada kullanılan parametreler Chebyshev, Circle, Gauss, Iterative, Logistic ve Tent kaotik haritaları kullanılarak yeniden üretilmiştir. Performansları karşılaştırmak için sekiz adet kalite testi fonksiyonu kullanılmıştır. Buna göre kaotik haritalar kullanılarak oluşturulan yeni algoritmalarından elde edilen sonuçların, klasik BO'ya göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bonobo Optimizasyonu, Kaotik Haritalar, Metasezgisel Algoritmalar.

Chaotic Bonobo Algorithm for Global Optimization Problems

Abstract

Optimization algorithms are algorithms that aim to find the approximate best solution by sacrificing the global optimum. The Bonobo Optimization Algorithm examined in this study is an algorithm based on herd intelligence and is based on mathematical modeling of bonobos' social behavior and reproductive strategies. Bonobos form groups of various sizes and characteristics within the community they live in, leaving each other for different purposes and reuniting after a while. When the reproductive strategy of bonobos is examined, it is seen that they adopt four different strategies such as random mating, restrictive mating, consortium and out-group mating. These natural behaviors of bonobos have been used to solve various optimization problems. The most important feature that distinguishes the Bonobo Optimization Algorithm from other algorithms based on swarm intelligence is the update mechanisms of the search agents and the parameters associated with them, and the selection method of mating partners. In this study, the Bonobo Algorithm was examined and the results obtained by reproducing the random parameters used in the algorithm with chaotic maps were evaluated. It was analyzed in this study and reconstructed with the Chebyshev, Circle, Gauss, Iterative, Logistics and Tent chaotic maps used here. Eight quality tests were used for their performance. Accordingly, chaotic maps seem to be more efficient than classical BO from the results obtained from the new models.

Keywords: Bonobo Optimization, Chaotic Maps, Metaheuristic Algorithms.

* Sorumlu Yazar: sumeyyebazna@gmail.com

1. Giriş

Optimizasyon, kelime anlamı olarak bir kaynağın ya da durumun en iyi ve en etkili şekilde kullanılması olarak tanımlanmıştır. Bilgisayar biliminin gelişmesiyle birlikte problemlerin karmaşıklığı da artmıştır. Çözümü çok zor olan yada çok fazla zaman gerektiren problemler için global optimumdan feragat edilerek yaklaşık çözümü bulmaya yarayan meta-sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Doğada çeşitli ilke ve mekanizmalara bağlı olarak gerçekleşen bir çok olay vardır ve bu olayların matematiksel modellenmesiyle optimizasyon problemleri oldukça verimli şekillerde çözülebilmektedir [1].

Literatüre göre stokastik yöntemlerle ilgili teorik çalışmalar 3 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar; var olan algoritmaların iyileştirilmesi, farklı algoritmaların hibritleştirilmesi ve yeni algoritmaların tanıtılmasıdır. Var olan algoritmaların iyileştirilmesinde araştırmacılar, değiştirilmiş ya da tamamen yeni operatörler ile mevcut algoritmanın performansını iyileştirmeye çalışmaktadırlar. Evrimsel operatörler [1], arama alanı azaltma tekniği [2] ve yeniden başlatma stratejileri [3] bu kategorinin örnekleri olarak sayılabilir. Farklı algoritmaların hibritleştirilmesi yönteminde, genel problemi çözmek adına farklı algoritmalar hibritleştirilmektedir [4]. Yeni algoritmaların tanıtımı ise araştırmacılar tarafından denenmiş ve başarılı sonuçlar almış algoritmaların tanıtılması ile ilgilidir. Önerilen tüm bu algoritmaların ortak özelliği ise evrimsel bir süreçten, topluluk halinde yaşayan canlıların sürü davranışlarından, insanların yaşam tarzlarından ya da çeşitli doğal olayların matematiksel modellenmesi ile ortaya çıkmış olmalarıdır [1].

Biyolojik evrimden ilham alınarak Genetik Algoritma (GA) [5] ve Diferansiyel Gelişim Algoritması (DE) [6] gibi çeşitli Evrimsel Algoritmalar (EA) geliştirilmiştir. Yine sürü zekasına dayalı Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [7] ve Yarasa Algoritması (BA) [8] geliştirilmiştir. Temelde geliştirilen bu algoritmaların tamamı kuş sürüsü, karınca sürüsü, balık sürüsü ya da virüs-bakteri büyümesi gibi canlıların sürü davranışlarının taklit edilmesi sonucunda geliştirilmiştir. İnsan davranışlarını konu alan algoritmaların ise saydığımız diğer algoritmalara kıyasla daha karmaşık ve üstün olması beklenmektedir [9]. Bu nedenle, Beyin Fırtınası Optimizasyonu (BSO) [9], Öğretme-Öğretme Temelli Algoritma (TLBO) [10] gibi insan davranışları temel alınarak geliştirilen algoritmaların daha büyük ölçekli problemleri çözebilmesi beklenmektedir. Literatürde önemli sayıda optimizasyon problemi meta-sezgisel algoritmalar yardımıyla çözülmektedir. Bu durumda şu soru gündeme gelmektedir: Daha fazla optimizasyon algoritmasına ihtiyaç var mıdır? Varsa neden? Bu sorunun cevabı "No Free Lunch" diye bilinen teoreme verilmektedir [11]. Bu teoreme göre hiçbir optimizasyon probleminin eşit kolaylık ve verimlilikte çözülemeyeceği ispatlanmıştır. Bir algoritmanın belirli bir problemdeki üstün performansını başka bir problemde garanti etmemesi ile bu ispatın sağlanması yapılabilmektedir. Dolayısıyla bu teorem farklı problemlerin farklı optimizasyon algoritmaları ile çözüleceğini savunmaktadır. Meta-sezgisel algoritmaların çoğunun doğası gereği uyarlanabilir kontrol parametrelerine sahip olması gerektiği görülmektedir yani algoritmanın daha verimli çalışması için o algoritmaya özgü parametrelerin evrim sırasında kendisini güncellemesi gerekmektedir [1].

Bu gerçeklerden hareketle BO geliştirilmiştir. BO, bonoboların sosyal yaşamlarından ve üreme stratejilerinden ilham

alınarak geliştirilen bir algoritmadır. Bonoboların bu doğal davranışları matematiksel olarak modellenmiş ve kullanılan kontrol parametrelerin doğası gereği uyarlanabilir olduğu bulunmuştur.

Literatür incelendiğinde, Abdelghany vd. çalışmalarında, BO'nun geliştirilmiş bir versiyonunu güneş pillerinin farklı matematiksel modellerinin bilinmeyen parametrelerinin doğru değerlerini elde etmek için kullanmışlardır ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [12]. Sultan vd. çalışmalarında farklı ticari PEMFC yığınlarının bilinmeyen parametrelerini belirlemek için BO kullanmışlardır ve elde edilen sonuçlar iyi bilinen optimizasyon algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır [13]. Das ve Pratihari, BO'nun performansını, CEC'13 ve CEC'14 test fonksiyonlarında test ederek son zamanların diğer verimli ve popüler optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırmışlardır ve önerilen BO'nun sonuçlarından istatistiksel olarak üstün performans elde etmişlerdir [14]. Das ve Pratihari bir diğer çalışmada ise makinelerin daha iyi üretim hızı ve genel bakım maliyetinin en aza indirilmesi için önleyici bakım aralığını genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve BO ile optimize etmişlerdir ve BO'nun GA ve PSO'ya kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [15]. Das vd. çalışmada farklı optimizasyon problemlerini çözmek için BO'nun üç farklı çok amaçlı versiyonunu önermişlerdir ve bu üç farklı versiyondan elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır [16].

Meta-sezgisel algoritmaların performanslarını arttırmak için kaotik haritalar kullanılabilir. Bu çalışmada BO'nun performansını arttırmak için Chebyshev, Circle, Gauss, Iterative, Logistic ve Tent kaotik haritaları kullanılarak KBO1 ve KBO2 algoritmaları önerilmiştir. Bu algoritmaların klasik BO'ya göre performanslarını test etmek için iki tane unimodal (Sphere ve Rosenbrock), iki tane multimodal (Schwefel ve Ackley), iki tane fixed-dimensional multimodal (Foxholes ve Kowalik) ve iki tane de Cec'2019 (Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem ve Lennard-Jones Minimum Energy Cluster) kalite testi fonksiyonları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Kaotik BO algoritmalarının, klasik BO'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Makalenin ikinci bölümünde BO'nun matematiksel modeli açıklanmıştır ve algoritmanın adımları anlatılarak akış diyagramı verilmiştir. Üçüncü bölümde, kaotik BO algoritması anlatılmıştır. Kullanılan kaotik haritalar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel sonuçlar tablo ve grafik halinde sunulmuş, açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise sonuçlar üzerinde tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. BO Algoritmasının Matematiksel Modellemesi

BO'da, problemin çözümü için bonoboların sosyal davranışları ve üreme stratejileri matematiksel olarak modellenmektedir. Diğer popülasyon tabanlı algoritmalarla benzer şekilde BO da sabit bir popülasyon büyüklüğüne sahiptir ve popülasyonun başlatılması rasgele gerçekleşmektedir. Algoritmada popülasyondaki her bir çözüm bonobo olarak adlandırılmaktadır ve tüm bonoboların uygunluk değerleri karşılaştırılmaktadır. Bir bonobo topluluğunda baskınlık hiyerarşisinde en iyi sıraya sahip olan bonobo, alfa bonobo olarak adlandırılmaktadır ve alfa bonobo en iyi uygunluk değerine sahip mevcut en iyi çözüm olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber, BO'nun kullanıcı tanımlı olmayan parametreleri belirlenen başlangıç değerleri ile başlatılmaktadır. BO'nun bir diğer önemli

özelliği ise algoritmada kullanılan bütün rasgele sayıların 0.0 ile 1.0 arasında oluşturulmasıdır [1].

2.1.1. BO'nun Kullanıcı Tanımlı Olmayan Parametrelerinin Başlatılması

Algoritmada kullanılan pozitif faz sayısı (ppc), negatif faz sayısı (npc), faz değişikliği (cp), ekstra grup eşleşme olasılığı (P_{xgm}), geçici alt grup boyut faktörü ($tsgs_{factor}$), faz olasılığı (P_p) ve yönlü olasılık (P_d) aşağıdaki gibi başlatılmaktadır:

$$\begin{aligned} ppc &= 0, \\ npc &= 0, \\ cp &= 0, \\ P_{xgm} &= P_{xgm_initial}, \\ tsgs_{factor} &= tsgs_{factor_initial}, \\ P_p &= 0.5, \\ P_d &= 0.5 \end{aligned}$$

$P_{xgm_initial}$ ve $tsgs_{factor_initial}$ sırasıyla P_{xgm} ve $tsgs_{factor}$ 'un başlangıç değerleridir.

2.1.2. Pozitif Faz-Negatif Faz

Yeterli yiyecek, yüksek çiftleşme oranı, korunma ve barışçıl yaşam koşullarının olduğu durumlar pozitif faz durumlarıdır. Geliştirilen algoritmada en iyi çözümde (α_{bonobo}) olumlu bir gelişme gözlemlendiğinde bu aşamaya pozitif faz (PP) denmektedir. Elde edilen en iyi çözümde (α_{bonobo}) herhangi bir gelişme gözlenmemesi durumunda ise negatif fazdan (NP) bahsedilmektedir. Algoritma pozitif fazdan geçiyorsa, pozitif faz sayısı (ppc) bir artırılmaktadır. Benzer şekilde algoritma negatif fazdan geçiyorsa, negatif faz sayısı (npc) bir artırılmaktadır. Hem npc hem de ppc 'nin başlangıç değerleri 0 olarak başlatılmakta ve parametrelerin herhangi biri artırıldığında, diğer parametrenin değeri 0'a eşitlenmektedir. Burada önemli olan nokta bir bonobo topluluğunda alfa bonobonun statüsü zaman zaman değişikliğe tabi tutulabilmektedir. Yani bir alfa bonobonun sonsuza kadar alfa bonobo olarak kalacağına garantisizdir. Bir bonobonun mevcut alfa bonoboya kıyasla daha güçlü olduğu tespit edilirse, hak eden bonoboya alfa bonobo statüsü verilmektedir [1].

2.1.3. Fisyon-Füzyon Sosyal Stratejisini Kullanan Bonobonun Seçimi

Bonoboların benimsedikleri 4 farklı üreme stratejisi vardır. Bu stratejiler; rasgele çiftleşme, kısıtlayıcı çiftleşme, konsorsiyum ve grup dışı çiftleşmedir [17]. Algoritmanın geçtiği fazın durumuna bağlı olarak, bu 4 stratejiden biri kullanılmaktadır. Örnek olarak pozitif faz (PP) senaryosunu ele alacak olursak:

PP fiziksel olarak yeterli gıdanın olduğu, diğer topluluklardan korunmanın, çiftleşme başarısının ve bonobolar arasında genetik olarak farklılıkların olduğu durumları temsil etmektedir. Böyle bir durumda rasgele çiftleşme ve kısıtlayıcı çiftleşme olasılığı daha yüksek olmaktadır. Rasgele çiftleşmede hem alfa bonobo hem de alt sıradaki erkek bonobolar çiftleşmeye katılabilmektedir. Ancak kısıtlayıcı çiftleşmeye alfa bonobo ile beraber sadece en iyi uygunluk değerlerine sahip olan bonobolar katılabilmektedir. Olumsuz ortam şartlarını temsil eden negatif faz (NP) durumunda ise konsorsiyum ve grup dışı çiftleşme olasılıkları daha yüksektir [1].

2.1.4.1. Rasgele ve Kısıtlayıcı Çiftleşme Stratejileri

Yeni bir bonobonun yaratılmasına çiftleşme stratejisine karar verilerek başlanmaktadır. Bu durum için faz olasılığı deneni (P_p) bir parametre tanımlanmaktadır. P_p 'nin başlangıç değeri 0.5 olarak ayarlanmış olup her iterasyonda güncellenmektedir. 0 ile 1 arasında üretilen rasgele bir sayının (say, r) P_p 'den küçük veya eşit olması durumunda Denklem 2'den yararlanılarak yeni bonobo yaratılmaktadır.

$$new_bonobo_j = bonobo_j^i + r1 * scab * (\alpha_j^{bonobo} - bonobo_j^i) + (1 - r1) * scsb * flag * (bonobo_j^i - bonobo_j^p) \quad (2)$$

Burada, new_bonobo_j yeni neslin j 'nci değişkeni, α_j^{bonobo} alfa bonobonun j 'nci değişkeni, $bonobo_j^i$ i 'nci bonobonun j 'nci değişkeni, $bonobo_j^p$ p 'nci bonobonun j 'nci değişkeni, $r1$ 0 ile 1 arasında rasgele sayı, $scab$ α_{bonobo} için paylaşım katsayısı, $scsb$ seçilen p 'nci bonobo için paylaşım katsayısı olmaktadır ve $flag$ ise sadece 1 veya -1 değeri alabilir.

i 'nci bonobonun uygunluk değerinin p 'nci bonobonunkinden daha iyi olduğu görülüyorsa, (yani α_{bonobo} ile birlikte diğer bonoboların da çiftleşmeye katılabileceği bir rasgele çiftleşme durumudur.) $flag$ 1'e eşitlenmektedir. Çiftleşmeye sadece α_{bonobo} ile birlikte daha yüksek rütbeli bonoboların katıldığı durumda $flag$ -1'e eşitlenmektedir (kısıtlayıcı çiftleşme durumu).

2.1.4.2. Konsorsiyum ve Grup Dışı Çiftleşme Stratejileri

Bu tür eşleşmeler rasgele sayının faz olasılığından büyük olduğu durumlarda görülmektedir. ($r > P_p$) Ayrıca (0,1) aralığında oluşturulan (say, r_2), grup dışı eşleşme olasılığından (P_{xgm}) küçük veya eşitse, çözüm güncellemesi ekstra grup eşleşmesi ile gerçekleştirilmektedir.

- α_j^{bonobo} 'nun j 'nci değişkeni $\geq bonobo_j^i$ 'nin i 'nci değişkeni ise Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılmaktadır.

$$\beta_1 = e^{(r_2^2 + r_4 - \frac{2}{r_4})} \quad (3)$$

$$new_bonobo_j = bonobo_j^i + \beta_1 \times (Var_max_j - bonobo_j^i) \quad (4)$$

- $(say, r_3) \leq P_d$ ise Denklem 5 ve Denklem 6 kullanılmaktadır.

2.1.5. Değişken Sınırlama Koşulları

$$\beta_2 = e^{(-r_4^2 + 2r_4 - \frac{2}{r_4})} \quad (5)$$

$$new_bonobo_j = bonobo_j^i - \beta_2 \times (bonobo_j^i - Var_min_j) \quad (6)$$

- $\alpha_j^{bonobo} < bonobo_j^i$ ise Denklem 3 ve Denklem 7 kullanılmaktadır.

$$new_bonobo_j = bonobo_j^i - \beta_1 \times (bonobo_j^i - Var_min_j) \quad (7)$$

- $r3 \leq P_d$ veya $r3 > P_d$ ise Denklem 5 ve Denklem 8 kullanılmaktadır.

$$new_bonobo_j = bonobo_j^i + \beta_2 \times (Var_max_j - bonobo_j^i) \quad (8)$$

P_d 'nin başlangıç değeri 0.5 olarak ayarlanmaktadır ve daha sonra evrimin durumuna göre güncellenmektedir. β_1 ve β_2 new_bonobo_j değerini hesaplamak için iki ara parametredir. j , 1 ile d arasında değişmektedir (toplam karar değişkenlerinin sayısı). $r4$, 0 ile 1 arasında rasgele sayıdır (ancak 0 olamaz). Var_max_j ve Var_min_j sırasıyla j 'ninci değişkene karşılık gelen üst ve alt sınır değerleridir.

$r2 > P_{xgm}$ durumunda konsorsiyum çiftleşme stratejisi Denklem 9'daki gibi kullanılarak yeni bonobolar yaratılmaktadır.

$$new_bonobo_j = \begin{cases} bonobo_j^i + flag \times e^{-r5} \times (bonobo_j^i - bonobo_j^p) \\ \text{if } (flag = 1 || r6 \leq P_d), \\ bonobo_j^p, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

Burada $r5$ ve $r6$ rasgele iki sayı ve P_d ise yönlü olasılıktır. Özetle; pozitif evrede (PP) bonoboların, alfa bonoboya doğru hareket etme olasılıklarının daha fazla olduğu, evrimin negatif evresinde (NP) rasgele hareket eğiliminin daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

2.1.5. Değişken Sınırlama Koşulları

Eğer yavru, new_bonobo_j 'nin Var_max_j değerinden daha büyük olduğu bulunursa, new_bonobo_j 'ye Var_max_j 'ninkine eşit bir değer atanmaktadır.

Benzer şekilde, new_bonobo_j 'nin Var_min_j değerinden daha az olduğu görüldüğünde, new_bonobo_j 'nin değeri Var_min_j 'ye eşit alınmaktadır.

2.1.6. Yavruların Kabul Kriterleri

new_bonobo_j 'nin uygunluk değeri $bonobo^i$ 'ninkinden daha iyi bulunursa veya rasgele sayı P_{xgm} 'den küçük veya eşitse, yavru kabul edilmektedir ve $bonobo^i$ olmaktadır. Bu durumda popülasyonda new_bonobo_j 'nin yerini almaktadır. Yeni bonobonun uygunluğunun alfa bonobonunkinden daha iyi olduğu görülüyorsa, yeni bonobo alfa bonobo olarak bildirilmektedir.

2.1.7. Parametrelerin Güncellenmesi

Mevcut yinelemeden yeni elde edilen alfa bonobonun, önceki yinelemeye kıyasla uygunluk değeri açısından daha iyi bir çözüm olduğu görülürse, BO parametreleri aşağıdaki gibi güncellenmektedir:

$$\begin{aligned} npc &= 0, \\ ppc &= ppc + 1, \\ cp &= \text{minimum}(0.5, ppc \times rcpp), \\ P_{xgm} &= P_{xgm_initial}, \\ P_p &= 0.5 + cp, \\ P_d &= P_p, \\ tsgs_{factor} &= \text{minimum}(tsgs_{factor_max}, \\ &\quad (tsgs_{factor_initial} + ppc \times rcpp^2)) \end{aligned}$$

Burada $rcpp$ ve cp sırasıyla faz olasılığındaki değişim oranı ve fazdaki değişim miktarıdır. Faz olasılığının başlangıç değerinin, başlangıçta her iki faza da eşit önem vermek için 0.5 olarak seçildiğine dikkat edilmelidir. Ancak, faz olasılığının bu değeri, amaç fonksiyonunun ve algoritmanın davranışına göre

iterasyonların ortaya çıkmasıyla değişecektir. ($tsgs_{factor_max}$), geçici sosyal grup boyut faktörünün ($tsgs_{factor}$) maksimum değeridir ve kullanıcı tarafından algoritmanın başında ayarlanmaktadır. ($P_{xgm_initial}$) ve ($tsgs_{factor_initial}$) sırasıyla grup dışı çiftleşme olasılığının (P_{xgm}) ve geçici alt grup boyut faktörünün ($tsgs_{factor}$) başlangıç değerleridir.

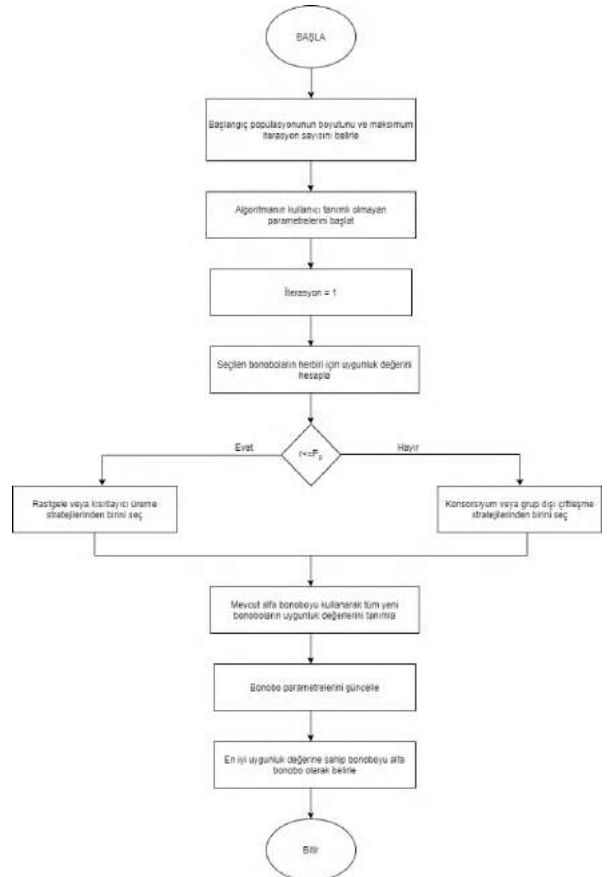
Burada ($P_{xgm_initial}$), algoritmanın kullanıcı tanımlı bir parametresidir. Ancak, ($tsgs_{factor_initial}$) Denklem 10 kullanılarak hesaplanır.

$$tsgs_{factor_initial} = 0.5 \times tsgs_{factor_max} \quad (10)$$

Başka bir durumda, mevcut yinelemede, alfa bonobonun uygunluk değerinde öncekine kıyasla herhangi bir gelişme olmazsa, parametreler aşağıdaki gibi güncellenmektedir:

$$\begin{aligned} ppc &= 0, npc = npc + 1, \\ cp &= -\text{minimum}(0.5, npc \times rcpp), \\ P_{xgm} &= \text{minimum}(0.5, (P_{xgm_initial} + npc \\ &\quad \times rcpp^2)), \\ P_p &= 0.5 + cp, \\ P_d &= P_p, \\ tsgs_{factor} &= \text{maximum}(0, (tsgs_{factor_initial} - npc \\ &\quad \times rcpp^2)). \end{aligned}$$

Bonobo optimizasyon algoritmasının akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. BO'nun akış diyagramı

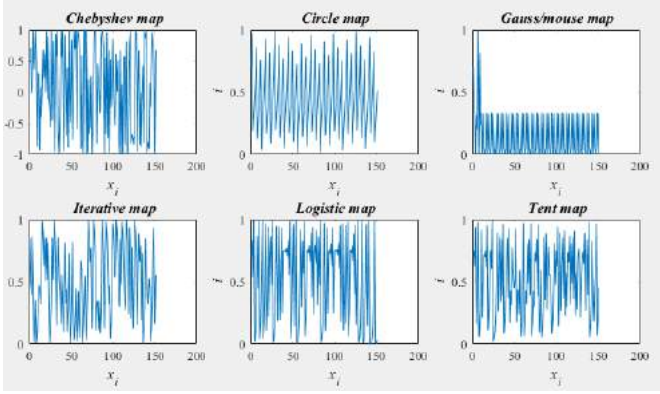
2.2. Kaotik Bonobo Optimizasyonu

Bu çalışmada BO'nun iki farklı kaotik versiyonu KBO1 ve KBO2 önerilmektedir. KBO1'de alfa bonobonun paylaşım katsayısı sabiti scab sabiti için, KBO2'de ise seçilen bonobonun paylaşım katsayısı olan scsb sabiti için kaotik sayılar üretilmiştir.

Kullanılan haritalar Tablo 1'de sunulmaktadır, Şekil 2'de ise kullanılan kaotik haritalar görselleştirilmiştir.

Tablo 1 Kullanılan kaotik haritalar

Kaotik harita	Formül
Circle map	$X_{n+1} = X_n + b - \left(\frac{a}{2\pi}\right) \sin(2\pi X_n) \text{ mod}$
Gauss map	$x_{n+1} = \exp(-\alpha x_n^2) + \beta_1$
Chebyshev map	$T_n(x) = \cos(n \times \arccos(x))$
Logistic map	$X_{n+1} = r x_n (1 - X_n)$
Tent map	$X_{n+1} = \mu \left(1 - 2 \left|X_n - \frac{1}{2}\right|\right)$
Iterative map	$x_{i+1} = \sin\left(\frac{a\pi}{x_i}\right), a = 0.7$



Şekil 2. Kullanılan Kaotik haritaların görselleştirilmesi

2.2.1. Alfa Bonobonun Paylaşım Katsayısı için Kaotik Haritalar

Rasgele ve kısıtlayıcı çiftleşme stratejisinde, yeni bir bonobonun yaratılmasında kullanılan alfa bonobo için paylaşım katsayısı olan scab değeri Şekil 3'teki gibi elde edilmiştir. Kullanılan kaotik haritalar 0 ile 1 arasında değerler üretmektedir. scab değeri 1 ile 2 arasında olması gerektiği için x(i+1) değerine 1 eklenmiştir.

```
x1=0.7
for i=1:fonskyion değerlendirme sayısı
...
x(i+1)=seçilen kaotik haritası
scab=(x(i+1))+1
...
end
```

Şekil 3 scab değerinin kaotik haritalar kullanılarak elde edilmesi

2.2.2. Seçilen Bonobonun Paylaşım Katsayısı için Kaotik Haritalar

Rasgele ve kısıtlayıcı çiftleşme stratejisinde, yeni bir bonobonun yaratılmasında kullanılan rasgele seçilen bonobo için

paylaşım katsayısı olan scsb değeri Şekil 5'teki gibi elde edilmiştir.

```
x1=0.7
for i=1:fonskyion değerlendirme sayısı
...
x(i+1)=seçilen kaotik haritası
scsb=(x(i+1))+1
...
end
```

Şekil 4 scsb değerinin kaotik haritalar kullanılarak elde edilmesi

3. Deneysel Sonuçlar

Bu algoritmaların klasik BO'ya göre performanslarını test etmek için unimodal test fonksiyonlarından Sphere ve Rosenbrock, multimodal test fonksiyonlarından Schwefel ve Ackley, fixed-dimension multimodal test fonksiyonlarından Foxholes ve Kowalik ve Cec'2019 test fonksiyonlarından Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem ve Lennard-Jones Minimum Energy Cluster kullanılmıştır. Bu fonksiyonların açıklaması Tablo 2'de verilmiştir.

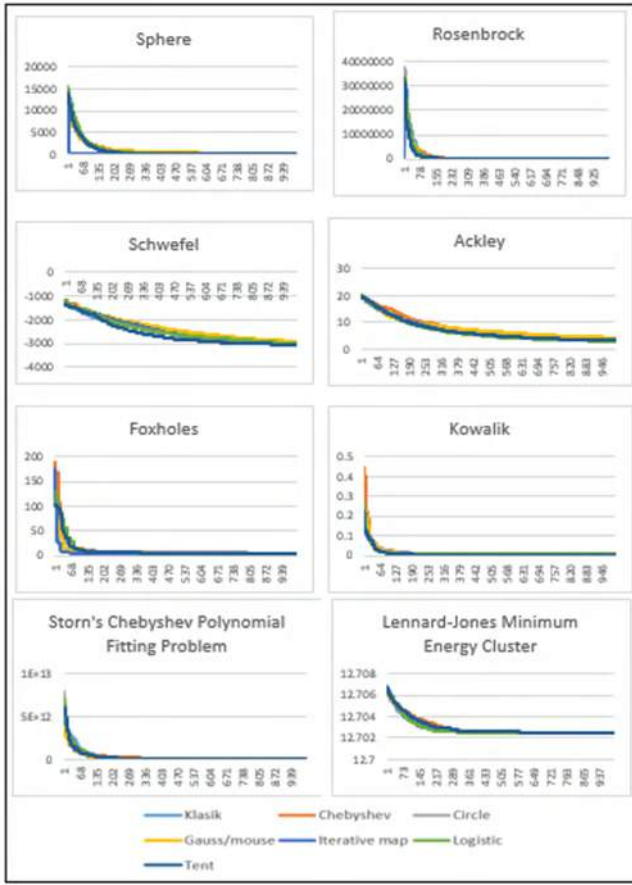
Tablo 2. Kullanılan kalite testi fonksiyonları

Name	Function Equation	Parameters	MIN	Problem Size
Sphere	$f(x) = \sum_{i=1}^N x_i^2$	$-100 < x_i < 100$	0	10
Rosenbrock	$f(x) = \sum_{i=1}^{N-1} [100(x_i^2 - x_{i+1})^2 + (1 - x_i)^2]$	$-30 < x_i < 30$	0	10
Schwefel	$f(x) = \sum_{i=1}^N (-x_i \sin(\sqrt{|x_i|}))$	$-500 < x_i < 500$	-418.9829 * n	10
Ackley	$f(x) = -20 \exp \left[-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \right] - \exp \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i) \right) + e + 20$	$-32 < x_i < 32$	0	10
Foxholes	$f(x) = \left(\frac{1}{500} + \sum_{j=1}^{25} \frac{1}{j + \sum_{i=1}^2 (x_i - a_{i,j})^6} \right)^{-1}$	$-65.536 < x_i < 65.536$	1	2
Kowalik	$f(x) = \sum_{i=1}^{11} \left[a_i - \frac{x_1(b_i^2 + b_i x_2)}{b_i^2 + b_i x_3 + x_4} \right]^2$	$-5 < x_i < 5$	0.00030	4
Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem	$f(x) = p_1 + p_2 + p_3$ $p_1 = \begin{cases} (u - d)^2 & \text{if } u < d, \\ 0 & \text{otherwise;} \end{cases} \quad u = \sum_{j=1}^D x_j (1.2)^{D-j}$ $p_2 = \begin{cases} (v - d)^2 & \text{if } v < d, \\ 0 & \text{otherwise;} \end{cases} \quad v = \sum_{j=1}^D x_j (-1.2)^{D-j}$ $p_k = \begin{cases} (w_k - 1)^2 & \text{if } w_k > 1 \\ (w_k + 1)^2 & \text{if } w_k < 1 \\ 0 & \text{otherwise;} \end{cases} \quad w_k = \sum_{j=1}^D x_j \left(\frac{2k}{m} - 1 \right)^{D-j}$ $p_3 = \sum_{k=0}^m p_k, \quad k = 0, 1, \dots, m, \quad m = 32D.$	$-8192 < x_i < 8192$	1	9
Lennard-Jones Minimum Energy Cluster	$d = 72.661$ $f(x) = 12.7120622568 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left(\frac{1}{d_{i,j}^2} - \frac{2}{d_{i,j}} \right),$ $d_{i,j} = \left(\sum_{k=0}^2 (x_{3i+k-2} - x_{3j+k-2})^2 \right)^3, \quad n = D/3$	$-4 < x_i < 4$	1	18

Alfa bonobo için paylaşım katsayısı olan *scab* değeri üretilirken kullanılan kaotik haritaların uygunluk değerlerinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir. KBO1 için Chebyshev, Gauss, Logistic, Circle,

Iterative ve Tent kaotik haritaları kullanılarak üretilen *scab* değeri Sphere, Schwefel, Foxholes, Rosenbrock, Ackley, Kowalik, Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem ve Lennard-

Jones Minimum Energy Cluster olmak üzere toplam 8 tane kalite testi fonksiyonu ile test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 4 Fonksiyon değerlendirme sayısına göre KBO1 algoritmasının uygunluk değerinin değişimi

Tablo 3. KBO1 için istatistiksel sonuçlar

		Klasik	Chebyshev	Circle	Gauss	Iterative	Logistic	Test
Sphere	Min	1,63E-02	1,19E-01	9,25E-02	7,56E+00	3,78E-02	1,50E-02	1,37E-02
	Maks	1,31E+01	1,65E+01	2,58E+01	3,56E+02	5,36E+01	2,86E+00	1,68E+01
	Ortalama	2,10E+00	4,65E+00	6,43E+00	1,07E+02	3,65E+00	6,27E-01	1,47E+00
	Std. Sapma	3,231904101	4,893628745	6,684469893	101,6747831	11,85851553	0,794586764	3,664736117
Rosenbrock	Min	5,22E+00	2,91E+01	1,59E+01	1,62E+02	6,74E+00	8,78E+00	1,20E+01
	Maks	3,81E+03	1,85E+03	2,79E+03	1,11E+05	2,20E+03	4,22E+02	2,67E+03
	Ortalama	6,66E+02	3,18E+02	4,44E+02	1,89E+04	3,22E+02	1,59E+02	5,41E+02
	Std. Sapma	1124,037408	428,0650395	679,0225373	32545,37764	480,2474793	118,3905132	702,5170428
Schwefel	Min	-3596,66	-3493,51	-3606,8	-3408,66	-3695,49	-3647,77	-3599,91
	Maks	2,45E+03	-2,41E+03	2,42E+03	-2,60E+03	2,32E+03	2,47E+03	-2458,04
	Ortalama	-3021,46	-3055,24	-3005,66	-2924,01	-3089,56	-3018,92	-3088,48
	Std. Sapma	3,12E+02	3,46E+02	3,14E+02	2,24E+02	3,51E+02	2,95E+02	321,0434
Ackley	Min	3,84E-01	1,23E+00	2,05E+00	2,17E+00	1,914171	0,166056	1,698925
	Maks	6,09E+00	5,72E+00	6,54E+00	6,95E+00	7,288041	6,635179	5,995996
	Ortalama	3,46E+00	3,15E+00	3,73E+00	4,34E+00	3,082541	2,986883	3,209781
	Std. Sapma	1,591398	1,251946	1,163788	1,430327	1,321904	1,407412	0,986543

Foxholes	Min	0,998004	0,998004	0,998004	0,998004	0,998004	0,998004	0,998004
	Maks	15,50382	10,76318	18,30431	15,50382	12,67051	15,50382	12,67051
	Ortalama	4,179932	2,836754	6,065021	4,284551	1,976101	4,774352	5,217781
	Std. Sapma	4,200027	2,56514	5,509092	3,792022	2,864698	4,103282	3,713161
Kowalik	Min	0,000327	0,000566	0,000382	0,000563	0,000311	0,000409	0,00044
	Maks	0,020363	0,020363	0,020364	0,022573	0,020363	0,020363	0,022073
	Ortalama	0,009659	0,007789	0,007729	0,005491	0,003869	0,008611	0,003295
	Std. Sapma	0,009745	0,009473	0,009519	0,007962	0,007118	0,009848	0,006354
Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem	Min	2,39E+08	1,17E+09	2,17E+08	2,91E+09	6,35E+08	5,71E+08	3,16E+08
	Maks	1,55E+11	1,05E+11	1,1E+11	5,52E+10	3,93E+10	9,68E+10	1E+11
	Ortalama	1,79E+10	2,79E+10	2E+10	1,7E+10	1,13E+10	2,13E+10	1,23E+10
	Std. Sapma	3,58E+10	2,95E+10	2,67E+10	1,53E+10	1,05E+10	2,87E+10	2,26E+10
Lennard-Jones Minimum Energy Cluster	Min	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01
	Maks	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01
	Ortalama	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01
	Std. Sapma	4,25E-06	1,95E-05	3,69E-06	3,26E-05	3,76E-07	0,000204	2,26E-05

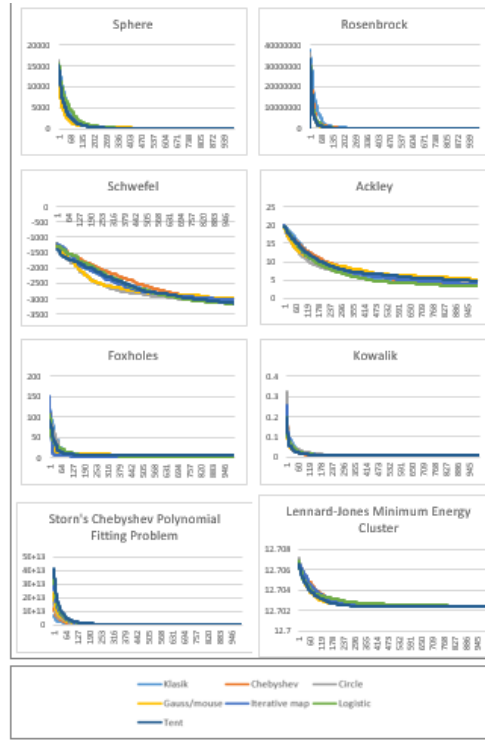
Tablo 3'teki bulgular incelendiğinde en iyi minimum değerleri; Sphere test fonksiyonuna göre Tent map, Rosenbrock test fonksiyonuna göre klasik bonobo algoritması; Schwefel ve Kowalik test fonksiyonlarına göre Iterative map, Ackley test fonksiyonuna göre Logistik map, Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem test fonksiyonuna göre Circle map vermiştir. Foxholes ve Lennard- Jones Minimum Energy Cluster test fonksiyonuna göre birbirine çok yakın minimum sonuçlar bulunmuştur.

Aynı şekilde Tablo 3'e göre en iyi ortalama değerleri; Sphere, Rosenbrock ve Ackley test fonksiyonlarına göre Logistic, Schwefel, Foxholes ve Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem test fonksiyonlarına göre Iterative map, Kowalik test

fonksiyonuna göre Tent map vermiştir. Lennard- Jones Minimum Energy Cluster test fonksiyonuna göre birbirine çok yakın minimum sonuçlar bulunmuştur.

Seçilen bonobo için paylaşım katsayısı olan *scsb* değeri üretilirken kullanılan kaotik haritaların uygunluk değerlerinin değişimi Şekil 6'da verilmiştir. KBO2 için Chebyshev map, Gauss map, Logistic map, Circle map, Iterative map ve Tent kaotik haritaları kullanılarak üretilen *scsb* değeri Sphere, Schwefel, Foxholes, Rosenbrock, Ackley, Kowalik, Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem ve Lennard- Jones Minimum Energy Cluster olmak üzere toplam 8 tane kalite testi fonksiyonu ile test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Şekil 6 *scsb* değerinin kaotik haritalar kullanılarak elde edilmesi



Tablo 4. KBO2 için istatistiksel sonuçlar

		Klasik	Chebyshev	Circle	Gauss	Iterative	Logistic	Tent
Sphere	Min	0,016329708	0,154117853	0,251088192	2,859465646	0,025357535	0,012869884	0,011770677
	Maks	13,13547834	38,59750631	127,7587614	334,0771476	5,325510953	33,73332785	33,59947458
	Ortalama	2,101447548	4,230725927	21,96240175	69,17022755	1,32075202	3,33770931	3,839655753
	Std. Sapma	3,231904101	8,591700517	32,57699467	83,3405498	1,58289825	8,27272374	7,744874573
Rosenbrock	Min	5,216308756	13,51794909	7,896805802	237,126786	5,423793267	11,98071059	20,16582213
	Maks	3808,664931	9151,345743	4599,29451	63584,87095	19454,93423	3614,203656	1874,322702
	Ortalama	666,0955666	939,9375578	814,1178184	11970,57908	1293,475353	343,1381159	404,4154969
	Std. Sapma	1124,037408	2047,69443	1302,642058	13948,39756	4300,654478	812,5541485	561,9078643
Schwefel	Min	-3596,66	-3521,49	-3471,65	-3716,5	-3752,1	-3568,78	-3768,77
	Maks	-2449,66	-2568,83	-2616,74	-2233,49	-2386,61	-2740,82	-2498,76
	Ortalama	-3021,46	-3066,09	-3145,89	-2979,69	-3046,51	-3165,84	-3147,03
	Std. Sapma	311,6576	217,7573	212,0611	371,7339	369,6563	259,3259	342,0656
Ackley	Min	3,84E-01	1,32E+00	1,909969	3,341026	0,048592	0,139737	1,853678
	Maks	6,09E+00	5,72E+00	11,34514	7,613668	8,289261	6,767626	7,900858
	Ortalama	3,46E+00	3,25E+00	4,221874	5,1559	3,849412	3,265209	4,534949
	Std. Sapma	1,591398	1,015976	2,106425	1,288601	1,660481	1,450572	1,857888
Foxholes	Min	0,998004	0,998004	0,998004	1,992031	0,998004	0,998004	0,998004
	Maks	15,50382	15,50382	21,07269	17,37441	7,873993	10,76318	12,67051
	Ortalama	4,179932	4,627346	5,868512	6,9052	1,932364	3,746592	4,973943
	Std. Sapma	4,200027	3,8596	5,564256	4,909257	2,289157	3,62708	3,930296
Kowalik	Min	0,000327	0,000363	0,000377	0,000651	0,000493	0,000583	0,000309
	Maks	0,020363	0,020363	0,021016	0,028218	0,020363	0,020363	0,022276
	Ortalama	0,009659	0,003643	0,006164	0,007935	0,007544	0,008598	0,008734

	Std. Sapma	0,009745	0,00721	0,008542	0,010245	0,009309	0,009723	0,009954
Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem	Min	2,39E+08	1,12E+09	1,43E+09	1,76E+09	2,44E+08	9,16E+08	1,83E+09
	Maks	1,55E+11	7,07E+10	7,58E+10	3,02E+11	5,14E+10	1,31E+11	1,43E+11
	Ortalama	1,79E+10	1,71E+10	1,89E+10	8,79E+10	1,29E+10	2,19E+10	1,78E+10
	Std. Sapma	3,58E+10	1,93E+10	2,05E+10	9,34E+10	1,32E+10	3,1E+10	3,11E+10
Lennard-Jones Minimum Energy Cluster	Min	12,7024	12,7024	12,7024	12,7024	12,7024	12,7024	12,7024
	Maks	12,70242	12,70241	12,7025	12,70245	12,70252	12,70242	12,7024
	Ortalama	12,70241	12,7024	12,70241	12,70241	12,70241	12,7024	12,7024
	Std. Sapma	4,25E-06	2,53E-07	2,72E-05	1,2E-05	2,5E-05	3,37E-06	4,52E-08

Tablo 4'teki bulgular incelendiğinde en iyi minimum değerleri; Sphere, Schwefel ve Kowalik test fonksiyonlarına göre Tent map, Rosenbrock ve Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem test fonksiyonuna göre klasik bonobo algoritması, Ackley test fonksiyonuna göre Iterative map, Foxholes test fonksiyonuna göre Gauss map vermiştir. Lennard-Jones Minimum Energy Cluster test fonksiyonuna göre birbirine çok yakın minimum sonuçlar bulunmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada klasik BO algoritmasındaki *scab* ve *scsb* sabit parametrelerinin üretilmesinde altı farklı kaotik harita kullanılarak KBO1 ve KBO2 algoritmaları elde edilmiştir. Elde edilen KBO1 ve KBO2 algoritmaları ile klasik BO algoritması, sekiz farklı kalite testi fonksiyonu kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaya göre KBO1 ve KBO2 algoritmalarından elde edilen sonuçlar, klasik BO algoritmasından elde edilen sonuçlara göre, genel olarak daha iyi olduğu görülmektedir. Benzer şekilde yakınsama grafikleri göz önüne alındığında kaotik BO algoritmalarının, klasik BO'ya göre iyi sonuçlara daha erken ulaştığı görülmektedir.

KBO1 ve KBO2'den elde edilen bu rekabetçi sonuçlar göz önüne alınırsa, diğer kaotik haritalarında BO algoritmasına uyarlanabileceği düşünülmektedir. Gelecek çalışmalar için, bu kaotik BO algoritmalarının çok amaçlı versiyonu geliştirilerek gerçek dünya problemleri için kullanılması düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] A. K. Das and D. K. Pratihari, (2019, June). A new bonobo optimizer (BO) for real-parameter optimization, *2019 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, pp. 108-113. IEEE.
- [2] A. K. Das and D. K. Pratihari, (2018). A directional crossover (DX) operator for real parameter optimization using genetic algorithm, *Applied Intelligence*.
- [3] Das, A. K., & Pratihari, D. K. (2019). A New Search Space Reduction Technique for Genetic Algorithms. *In Contemporary Advances in Innovative and Applicable Information Technology* (pp. 111-119). Springer, Singapore.
- [4] Das, A. K., & Pratihari, D. K. (2017, December). A novel restart strategy for solving complex multi-modal optimization problems using real-coded genetic algorithm. *In International Conference on Intelligent Systems Design and Applications* (pp. 32-41). Springer, Cham.
- [5] Yun, Y., Chung, H., & Moon, C. (2013). Hybrid genetic algorithm approach for precedence-constrained sequencing

problem. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 137-147.

Benzer şekilde Tablo 4'e göre en iyi ortalama değerleri; Sphere, Foxholes ve Storn's Chebyshev Polynomial Fitting Problem test fonksiyonlarına göre Iterative, Rosenbrock ve Schwefel test fonksiyonlarına göre Logistic, Ackley ve Kowalik test fonksiyonlarına göre chebyshev map vermiştir. Lennard-Jones Minimum Energy Cluster test fonksiyonuna göre birbirine çok yakın minimum sonuçlar bulunmuştur.

- [6] Holland, J. H. (1975). An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. *Adaptation in Natural and Artificial Systems. First Edition, The University of Michigan, USA*.
- [7] Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359.
- [8] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. *In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.
- [9] Yang, X. S. (2010). A new metaheuristic bat-inspired algorithm. *In Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)* (pp. 65-74). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [10] Shi, Y. (2015). An optimization algorithm based on brainstorming process. *In Emerging Research on Swarm Intelligence and Algorithm Optimization* (pp. 1-35). IGI Global.
- [11] Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. P. (2011). Teaching-learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*, 43(3), 303-315.
- [12] Abdelghany, R. Y., Kamel, S., Sultan, H. M., Khorasy, A., Elsayed, S. K., & Ahmed, M. (2021). Development of an Improved Bonobo Optimizer and Its Application for Solar Cell Parameter Estimation. *Sustainability*, 13(7), 3863.
- [13] Sultan, H. M., Menesy, A. S., Kamel, S., Tostado-Véliz, M., & Jurado, F. (2020, June). Parameter identification of proton exchange membrane fuel cell stacks using bonobo optimizer. *In 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)* (pp. 1-7). IEEE.
- [14] Das, A. K., & Pratihari, D. K. (2021). Bonobo optimizer (BO): an intelligent heuristic with self-adjusting parameters

- over continuous spaces and its applications to engineering problems. *Applied Intelligence*, 1-33.
- [15] Das, A. K., & Pratihar, D. K. (2019, July). Optimal preventive maintenance interval for a Crankshaft balancing machine under reliability constraint using Bonobo Optimizer. In *IFTToMM World Congress on Mechanism and Machine Science* (pp. 1659-1668). Springer, Cham.
- [16] Das, A. K., Nikum, A. K., Krishnan, S. V., & Pratihar, D. K. (2020). Multi-objective Bonobo Optimizer (MOBO): an intelligent heuristic for multi-criteria optimization. *Knowledge and Information Systems*, 62(11), 4407-4444.
- [17] D. H. Wolpert and W. G. Macready, "No free lunch theorems for optimization," *IEEE transactions on evolutionary computation*, vol. 1, pp. 67-82, 1997.



Ağaçören/Aksaray Bölgesindeki Jeolojik Yapıların Jeofizik (Manyetik) Yorumu

Ezgi Erbek Kıran^{1*}, Mustafa Nuri Dolmaz²

^{1*} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik mühendisliği, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4627-8932), ezgiezbek@sdu.edu.tr

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik mühendisliği, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9185-9835), nuridolmaz@sdu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012554)

ATIF/REFERENCE: Kıran Erbek, E. & Dolmaz, M.N., (2021). Ağaçören/Aksaray bölgesindeki jeolojik yapıların jeofizik (manyetik) yorumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1039-1043.

Öz

Bu çalışmada Orta Anadolu kristalin kompleksi içerisinde yer alan ve intrüzyonik yapıları içeren Ağaçören bölgesine ait aeromanyetik veriler, ileri potansiyel alan işleme teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Manyetik anomali haritasında anomalinin biçim analizine dayanılarak bölgenin saat yönünde yaklaşık 150 rotasyon yapmış olabileceği görülmektedir. Bölgede yüzeylemiş olan kayaların yer altındaki sınırları ve ortalama derinlikleri analitik sinyal (AS) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen AS haritasında gabro birimlerin yüzey altında çalışma alanının merkezinde yer aldığı ve KB-GD doğrultusunda kollar şeklinde uzandığı görülmüştür. Analitik sinyal yönteminden yararlanılarak bulunan derinlik değerlerinin ise 9 km'ye kadar ulaştığı görülmüştür. Bu durum granitoidik intrüzyonik yapının üst kabuğun bu derinliklerine kadar uzanıyor olabileceğini göstermektedir. Ayrıca dönme dikkate alındığında bu değer yüzeyin altında KD eğimli bir yapının varlığını gösterdiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağaçören granitoid, Aeromanyetik veri, Analitik sinyal

Geophysical (Magnetic) Interpretation of Geological Structures in the Ağaçören/Aksaray Region

Abstract

This study analyzed the aeromagnetic data of the Ağaçören region containing intrusional structures, which is located in the Central Anatolian crystalline complex using advanced potential field processing techniques. Based on the shape analysis of the anomaly on the magnetic anomaly map, it is seen that the region may have rotated approximately 150 clockwise. The subsurface boundaries and average depths of the rocks outcropped in the region were calculated using the analytical signal (AS) method. In the AS map obtained, it was observed that the gabbro units are located in the center of the study area under the surface and extend in the form of branches in the NW-SE direction. It was seen that the depth values found by using the analytical signal method reached up to 9 km. This indicated that the granitoid intrusional structure may extend to these depths of the upper crust. In addition, considering the rotation, this value is thought to indicate the existence of a NE dipping structure below the surface.

Keywords: Agacoren granitoid, Aeromagnetic data, Analytic signal

* Sorumlu Yazar: ezgiezbek@sdu.edu.tr

1. Giriş

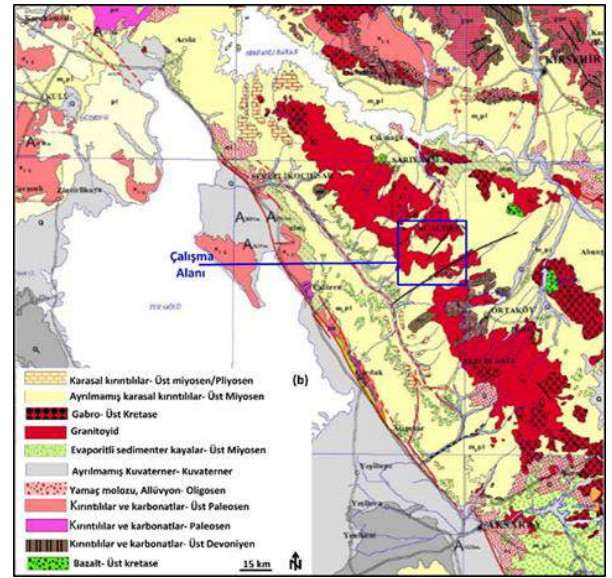
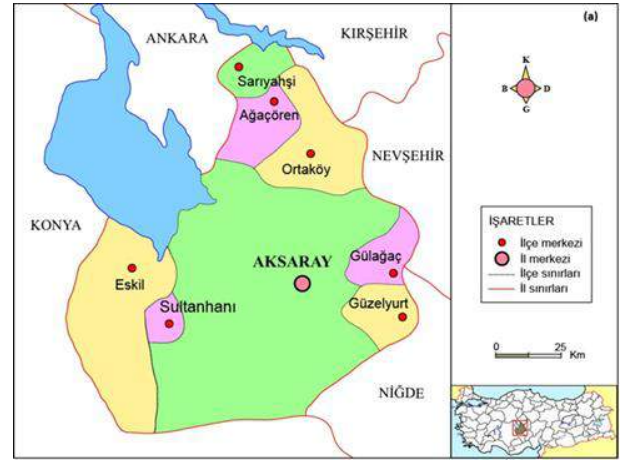
Çalışma alanı, tektonik olarak Türkiye'nin orta Anadolu bölgesinde Aksaray ilinin kuzeyinde Ağaören ilçesi sınırlarında içerisinde yer almaktadır (Şekil 1a). Bölge Türkiye'nin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü'nün doğusunda bulunmaktadır. Bu alanın çalışma alanı olarak ilgi çekici olması bölgede intrüzyonik yapıdaki granitoidinin bulunması ve bunun jeofizik (manyetik) anomaliler ile incelenmesi düşüncesidir. Yerin derinliklerinden sokulan granitoid kütleleri jeofizik manyetik ölçümlerde normal dışında anomalilere sebep olmaktadır. Bu nedenle ölçülen manyetik anomalilerin incelenmesi ve yorumlanması yeraltındaki kütlelerin durumunun anlaşılmasını olanaklı kılacaktır.

Ağaören granitoidi, Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK) içindeki intrüzyonik bir yapıdır ve yüzleklenmiştir (Şekil 1b). OAKK levha tektoniği guruplandırmasında Şengör [1] tarafından Kırşehir Bloğu olarak adlandırılmıştır. Bölgedeki akademik çalışmalar daha çok hem metamorfik kayalar [2, 3, 4] hem de granitoidler konusunda gerçekleştirilmiştir [5-11]

Orta Anadolu Kristalen masifi içindeki gabroik kayaların oluşumu ve yaşı ile granitoidit sokulum ilişkisi çeşitli araştırmacılar tarafından [12-14] tartışılmıştır. Doğada yaygın bir şekilde gabrolara ait topoğrafik yükseltilerin granitoidleri örttüğü bilinir [14]. OAKK nin granitoidleri ile ilişkili olan gabroların metamorfik kayalar üzerinde yer aldığı [11] ve meydana gelen intrüzyonun ofiyolitler ile son bulduğu belirtilmektedir [5].

Ağaören granitoidindeki gabro yüzleklenmelerin olduğu civarda yapılan jeofizik (rezistivite) çalışmalarından [8] OAKK deki gabroların bölgedeki allokon birimlerden daha derinlere uzanan intrüzyonlar olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Güleç ve diğ. [8] tarafından yapılan jeokimya ve petrografi içeren arazi çalışmalarından da Ağaören granitoidindeki gabro intrüzyonlarının olduğu ortaya konmuştur. Kadioğlu ve diğ. [11] ise aeromanyetik veriler kullanarak Ağaören granitoidindeki gabroların derin intrüzyonik yapısını ve onların yataydaki yapısal durumunu araştırmışlardır. Yüksek geçişli ve alçak geçişli fitrelenmiş anomalilerden oluşturulan iki boyutlu modeller sığ konik biçimli ve derinlere uzanan gabroik bir yapıyı göstermektedir. Üst kabuğun derinliklerine doğru uzanan magma karışımı ve Ağaören granitoidi ile eş anlı bir intrüzyon olarak yorumlanmıştır [11].

Bu çalışmada Canadian Aero Service (CAS, Hutchison ve diğ. [15] ait Türkiye'nin orta Anadolu bölgesinde yer alan Aksaray ilinin kuzeyinde Ağaören ilçesindeki aeromanyetik haritalar kullanılarak güç spektrumu ve analitik sinyal yöntemleri ile yeraltı yapısının incelenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. a) Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (http://cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari5.html) (b) Çalışma alanı ve çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (1/500000 ölçekli Türkiye jeoloji haritasından değiştirilmiştir, [16])

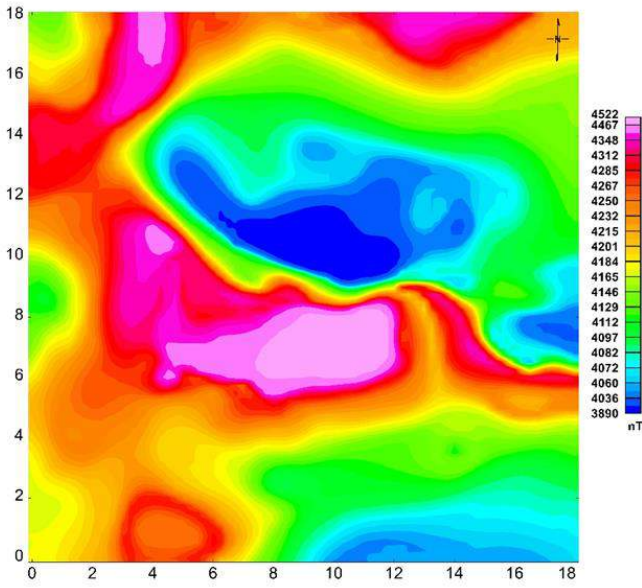
2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı olarak seçilen bölge genel konumu itibarı ile kıtasal kökenli kristalin masif olarak tanımlanan Kırşehir Kompleksi içerisinde yer almaktadır. Bölge, Tetis okyanusunun kapanmasından sonra K-G yönlü sıkışma sonucunda gelişen Kuzey ve Doğu Anadolu fay zonları arasında kalmasından ve Arap-Afrika levhalarının kuzey yönlü hareketinden kaynaklanan sıkışma dolayısıyla Anadolu'da gelişen kaçış tektoniğinden etkilenmektedir [1, 17]. Çalışma alanı, Kretase yaşlı metamorfik bir kuşak olarak tanımlanmış [18] olup deformasyon ve volkanizmadan etkilenmiştir [17, 19, 20]. Ayrıca bölge Üst Kretase - Eosen döneminde plütonik faaliyetlere maruz kalmış olup, Üst Kretase - Paleosen yaşlı granitoid ve siyenitlerin varlığı ile bilinmektedir. Bu granitoid serileri çalışma alanının güneybatısında yer alan Tuz Gölü boyunca KB-GD doğrultulu uzanmaktadır. Bölgede yer alan jeolojik birimler genellikle yüksek sıcaklık/ düşük basınç koşullarının hâkim olmasından dolayı Kretase yaşlı yüksek sıcaklığa sahip metamorfik kayalar ile magmatik sokulumlardan oluşmaktadır [21-23].

Çalışma alanında hâkim olan kayalar ise granit ve gabro olup, granit birimlerin de biyotit granit, amfibolit granit, biyotit amfibolit granit ve alkali feldspat granit olmak üzere dört alt grupta toplanmıştır. Bölgedeki granitoid topluluğu jeolojik literatürde Ağaçören Granitoid topluluğu olarak bilinmektedir ve bu bölgede çok sayıda gabriyotik mostra gözlenmektedir.

2.1. Aeromanyetik Veri

Bu çalışmada Canadian Aero Service (CAS, Hutchison ve diğ. [15] ait manyetik veriler Kadıoğlu ve diğ. [11]'nin çalışmasından yeniden sayısal hale getirilerek kullanılmıştır. Veri setini oluşturan ölçümler 150 m yükseklikten toplanmakla beraber 1 km'lik ölçüm aralıkları ile alınmıştır. Verilerin yeniden sayısallaştırılmasından sonra veriler 0.25 km aralıklarla gridlenmiş (Şekil 2) ve analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının manyetik anomali haritası.

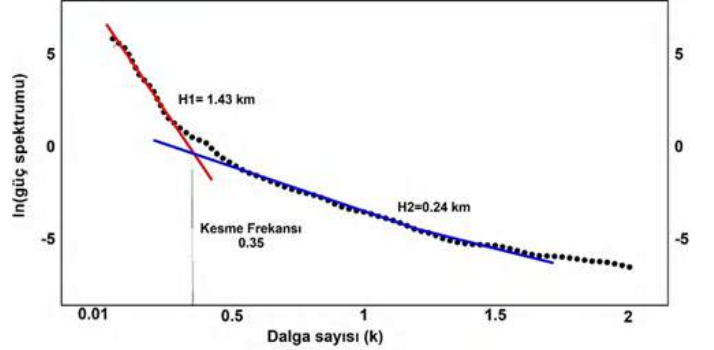
2.2. Güç Spektrumu Analizi

Manyetik veriler sığ yapıların neden olduğu rezidüel ve derin yapılardan kaynaklanan rejyonal anomaliler olmak üzere iki bileşeni içermektedir ve bunların birbirinden ayrılması için literatürde çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan güç spektrumu analizi Spector ve Grant [24] tarafından geliştirilmiş olup iki boyutlu hızlı Fourier dönüşümünü (FFT) kullanmaktadır. Yöntem dalga sayısına karşılık olarak logaritmik olarak güç spektrumu değerlerinin hesaplanarak çizilmesiyle oluşturulan grafiği kullanarak buradan elde edilen doğruların eğiminden bize anomalilere neden olan yapıların ortalama derinliklerini tahmin etme imkânı vermektedir. Bu derinlik değeri,

$$Z = \frac{m}{4\pi} \quad (1)$$

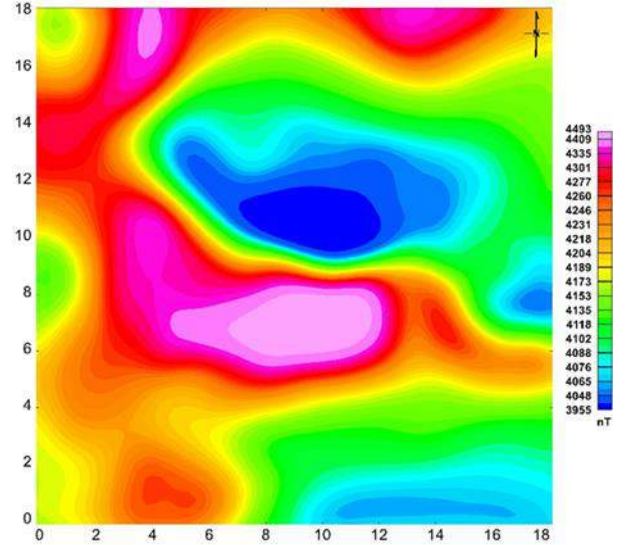
bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada m eğim, z ise ortalama derinlik değerleridir. Bölge için güç spektrumu işlemi manyetik alan verilerine uygulanmış ve bölgede anomaliye neden olan

kütlelerin ortalama derinlikleri derin (H1) ve sığ (H2) yapılar için sırasıyla 1.43 km ve 0.24 km olarak bulunmuştur (Şekil 3). Bu grafikten elde edilen kesme frekansı kullanılarak süzgeçleme işlemi yapılabilir hale gelmiştir. Bu işlem ile seçilen süzgeç türüne göre sığ veya derin yapıların etkileri harita üzerinde belirgin hale getirilebilmektedir.



Şekil 3. Logaritmik güç spektrumu analizi.

Bu çalışmada güç spektrumu analizinden elde edilen kesme frekansı kullanılarak alçak geçişli süzgeçleme işlemi verilere uygulanmıştır. Böylelikle sığ yapılardan kaynaklanan etkiler bastırılarak derin kütlelerin yarattığı anomaliler harita üzerinde belirgin hale getirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Alçak geçişli süzgeçlenmiş anomali haritası.

2.3. Analitik Sinyal Yöntemi

Analitik sinyal yöntemi, jeofiziksel araştırmalarda bozucu kütlelerin sınırlarını ve derinliklerini belirleme amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Yöntem Roest ve diğ. [25] tarafından geliştirilmiş olup, manyetik alanın birinci dereceden yatay ve düşey yöndeki türevlerinden üretilmiştir. Buna göre yöntem,

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (2)$$

bağıntısı ile verilmiştir. Burada T toplam manyetik alanı ifade etmektedir. $\frac{\partial T}{\partial x}$, $\frac{\partial T}{\partial y}$, and $\frac{\partial T}{\partial z}$ ise sırası ile manyetik alanın

yatay ve düşey türevleridir. Yöntem mıknaatıslanma yönünden bağımsız olduğundan dolayı jeofizik araştırmalarda büyük avantaj sağlamaktadır.

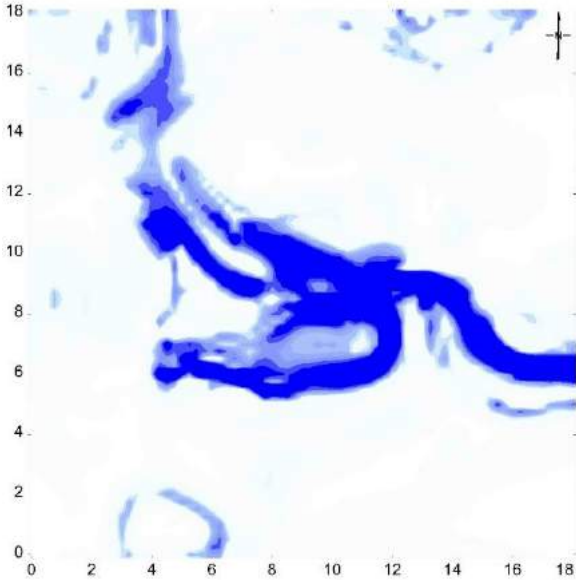
Analitik sinyal yönteminden yola çıkarak anomaliye sebep olan bozucu kütlelerin derinliklerini belirlemek için;

$$D = \frac{AS}{ASI} \times N \quad (3)$$

bağıntısı geliştirilmiştir. Burada, $ASI = \sqrt{\left(\frac{\partial f_v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_v}{\partial z}\right)^2}$ bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

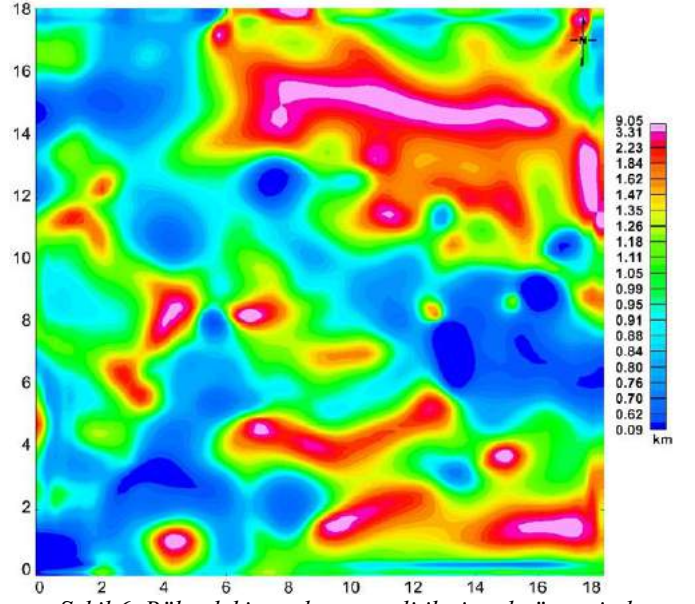
f_v , toplam manyetik alanın birinci düşey türevidir. N ise manyetik kaynağın geometrisine bağlı olarak yapısal indekstir. Bu değer küresel yapılar için N=4, boru şeklindeki yapılar için N=3, ince dayk yapıları için N=2 ve kontak alanlar için N=1 olarak alınmaktadır [26]. Bu çalışmada yapısal indeks değeri 1 alınarak bölgedeki yapıların derinlikleri hesaplanmıştır.

Bölgedeki yapıların sınırlarını belirlemeye yönelik elde edilen analitik sinyal haritası Şekil 5'te verilmiştir. Harita üzerindeki maksimum genlik değerleri lacivert renk ile verilmiştir ve bu alanlar yapı sınırlarına karşılık gelmektedir.



Şekil 5. Çalışma alanının analitik sinyal haritası. Lacivert renkli alanlar analitik sinyal genliğinin maksimum olduğu yerleri göstermektedir.

Analitik sinyal yönteminden yararlanarak bölgedeki derin yapıların ortalama derinlik değerleri hesaplanmış ve elde edilen derinlik dağılım haritası Şekil 6'da verilmiştir. Bölge için derinlik değerlerinin 0.09 km ile 9.05 km aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu durum güç spektrumundan elde edilen 1.43 km değerinden çok daha büyüktür. Bu durum bölgede yer alan ve anomaliye neden olan gabriotik kayaçların yüzey altında 9 km'lere kadar uzandığı düşüncesi doğurmaktadır. Haritanın kuzey kesiminde yer alan yüksek derinlik değerleri dikkat çekmektedir. Bu durum manyetik anomali haritası üzerinde de ifade edilen rotasyon miktarı da göz önüne alındığında, yer altında KD yönlü bir dalıma sahip ve 9 km derinliklere ulaşan bir yapının varlığı ile açıklanabilir (Şekil 6).



Şekil 6. Bölgedeki yapıların analitik sinyal yönteminden yararlanılarak elde edilen ortalama derinlik değerleri.

3. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada Orta Anadolu kristalin kompleksi içerisinde yer alan ve intrüzyonik yapıları içeren Ağaören bölgesine ait aeromanyetik veriler, ileri potansiyel alan işleme teknikleri kullanılarak analiz edilmiş ve bölgede yüzeylenmiş olan kayaçların yer altındaki sınırları ve ortalama derinlikleri hesaplanmıştır. Yapılan güç spektrumu analizi ile bölgede derin ve sığ yapıların ortalama derinlikleri 1.43 km ile 0.24 km bulunmuştur. Bölgedeki derin yapılardan kaynaklanan etkilerin harita üzerinde daha belirgin hale getirilmesi amacıyla ise güç spektrumundan elde edilen kesme frekansı kullanılarak alçak geçişli süzgeçleme işlemi uygulanmıştır. Alçak geçişli süzgeçlenmiş anomali haritası üzerinde orta kısımda yer alan yüksek değerli anomali kapanımı ve onun hemen kuzeyinde yer alan negatif değerli anomali kapanımı çifti dikkat çekmektedir. Bu durum, dünyanın manyetik alanı tarafından indüklenmiş manyetize kayaçların neden olduğu bir pozitif anomaliyi ve bunu tamamlayıcı olan bir negatif anomaliyi gösterdiği değerlendirilebilir. Kuzey yarımkürede normal polarlanmış cisimlerde durum bu şekildedir. Fakat sözkonusu bu anomalide bir miktar rotasyon etkisi gözlenmektedir. Kalıntı manyetizasyon yönünü tanımlayabilmek için manyetik anomalilerin biçim analizinden yararlanılabileceği Ziets and Henderson (1956) tarafından ortaya konmuştur. Buna göre yapılan anomalinin biçim analizine dayanılarak bölgenin saat yönünde yaklaşık 15° rotasyon yapmış olabileceği görülmektedir. Bu nedenle, çalışma alanındaki mıknaatıslanmış bu rejyonel cisim normal polarite süresi boyunca manyetizasyon kazandıkları ileri sürebilir, fakat bir miktar sapma içermektedir.

Yer altındaki bu derin yapıların sınırlarını ve ortalama derinliklerini bulmak için ise analitik sinyal yöntemi uygulanmıştır. Bölgedeki maksimum genlik değerlerinin yapı sınırlarına karşılık geldiği alanlar Şekil 5 üzerinde gösterilmiştir. Buna göre gabriotik birimler yüzey altında çalışma alanının merkezinde yer almakta ve KB-GD doğrultusunda kollar şeklinde uzanmaktadır. Analitik sinyal yönteminden yararlanılarak bulunan derinlik değerlerinin ise 9 km'ye kadar ulaştığı

görülmüştür. Bu değer bölgedeki yapıların yüzey altında 1.43 km'den daha derinde de devam ettiğini işaret etmektedir. Yukarıda belirtilen 15°lik rotasyon da dikkate alındığında, analitik sinyal derinlik haritasının kuzey kısmında yer alan bu yüksek değerlerin granitoid intrüzyonik yapının KD yönlü bir dalımla birlikte üst kabuğun bu derinliklerine kadar uzanıyor olabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Şengör, A.M.C., 1984. Cimmeriden orogenic system and tectonics of Eurasia, Geological Society of America, Special Publication 195, pp 82.
- [2] Erkan, Y., 1977. Orta Anadolu Masifinin güney batısında (Kırşehir yöresinde) etkili rejonel metamorfizma ile amfibol minerallerinin bileşimi arasındaki ilişkiler," *Yerbilimleri* 3, 41-4.
- [3] Seymen, Y., 1984. Kırşehir metamorfizmasının jeolojik evrimi, Ketin Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını, pp. 133-48.
- [4] Tolluoğlu, A. Ü., 1987. Orta Anadolu masifi Kırşehir metamorfizmasının (Kırşehir kuzeybatısı) petrografik özellikleri, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 11, 344-61, 1987.
- [5] Akıman, O., Erler, A., Göncüoğlu, M. C., Güleç, N., Geven, A., Türeli, T. K., Kadioğlu, Y. K., 1993. Geochemical characteristics of granitoids along the western margin of the Central Anatolian Crystalline Complex and their tectonic implications, *Geological Journal* 28, 371-82.
- [6] Bayhan, H., 1993. Ortaköy granitoidinin (Tuzgölü doğusu) petrografik ve kimyasal-mineralojik Özellikleri, *Doğa Türk Yerbilimleri Dergisi* 2, 147-60.
- [7] Güleç, N., 1994. Rb-Sr isotope data from the Ağaören Granitoid (East of Tuz Gölü): geochronological and genetical implications," *Turkish Journal of Earth Sciences* 3, 39-43.
- [8] Güleç, N., Toprak, V., Kadioğlu, Y. K., Barreiro, B., 1996. Anatomy of a gabbro body and its bearing on the origin of mafic enclaves in the Cretaceous Ağaören granitoid (Central Turkey), *Israel Journal of Earth Sciences* 45, 169-92,
- [9] Kadioğlu, Y. K., Ateş, A., Güleç, N., 1998. Structural interpretation of gabbroic rocks in Ağaören Granitoid, central Turkey: field observations and aeromagnetic data, *Geol. Mag.* 135 (2), 245-254.
- [10] Kadioğlu, Y. K., Güleç, N., 1996a. Ağaören Granitoidinde Yeralan Gabro Kütlesinin Yapısal Konumu: Jeolojik ve Jeofizik (Özdirenç) Verilerin Yorumu, *Turkish Journal of Earth Sciences* 5, 153-9.
- [11] Kadioğlu, Y. K., Güleç, N., 1996b. Mafik microgranular enclaves and interaction between felsic and mafic magmas in the Ağaören Intrusive Suite: evidence from petrographic features and mineral chemistry, *International Geology Review* 38, 854-67.
- [12] Ketin, İ., 2002. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Kayseri Paftası," M.T.A. Publications, pp 83.
- [13] Bayhan, H., 1986. İç Anadolu granitoid kuşağındaki Çelebi sokulumunun jeokimyası ve kökensel yorumu, *Jeoloji Mühendisliği* 29, 27-36.
- [14] Erler, A., Akıman, O., Unan, C., Dalkılıç, F., Dalkılıç, B., Geven, A., Önen, P., 1991. Kaman (Kırşehir) ve Yozgat yörelerinde Kırşehir Masifi magmatik kayaçlarının petrolojisi ve jeokimyası, *Doğa – Turkish Journal. Of Engineering and Environmental Sciences* 15, 76-100.
- [15] Hutchison, R. D., Lucarelli, L. B., Hartman, R. R., 1962. Türkiye'nin muntehap sahalarında maden kaynaklarının kiymetlendirilmesi hakkında havadan istiksaf programı, Publication of the Mineral Research and Exploration Company of Turkey, Field-III, no. 110.
- [16] MTA, 2002. 1/500000 digital geological maps database of Mineral Research and Exploration General Directorate, Ankara, Turkey.
- [17] Şengör, A.M.C., Gorur, N., Saroglu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study: in Biddle," K.T. and Christie-Blick, N., eds, *Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, Special Publications, SEPM Society for Sedimentary Geology, Tulsa, 37, 227-264.
- [18] Okay, A.I., 1986. High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey, *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 164, 333-348.
- [19] Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L., Zanchi, A., 1988. Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey, *Tectonophysics*, 146, 217-230.
- [20] Dhont, D., Chorowicz, J., Yurur, T., Froger, J. L., Kose, O., Gundogdu, N., 1998. Emplacement of volcanic vents and geodynamics of Central Anatolia, Turkey, *J. Volcan. Geother. Res.*, 85, 33-55.
- [21] Whitney, D.L., Dilek, Y., 1998. Metamorphism during alpine crustal thickening and extension in central Anatolia, Turkey: The Nigde metamorphic core complex, *Journal of Petrology* 39 (7), 1385-1403. *Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub.*, 37, 227-264.
- [22] Lefebvre, C., Peters, K., Wehrens, P., Brouwer, F.M., Van Roermund, H.L.M., 2015. Thermal and extensional exhumation history of a high-temperature crystalline complex (Hırkadag Massif, Central Anatolia), *Lithos* 238, 156-173.
- [23] Van Hinsbergen, D.J.J., Maffione, M., Plunder, A., Kaymakci, N., Ganerød, M., Hendriks, B.W.H., Corfu, F., Gurer, D., Gelder, G.I.N.O., Peters, K., McPhee, P., Brouwer, F., Advokaat, E., Vissers, R., 2016. Tectonic evolution and paleogeography of the Kırşehir Block and the Central Anatolian Ophiolites, Turkey, *Tectonics*, 35(4), 983-101.
- [24] Spector, A., Grant, F.S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data, *Geophysics*, 35, 293-302.
- [25] Roest, W. R., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, 5, 116-125.
- [26] Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett A. J., Somerton I. W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution, *Geophysics*, 55, 80-90.



Fuzzy Logic Control Automation for Traffic Signalization System

Ecem Acar^{1*}, Sevilay Kırıcı Serenbay²

^{1*} Harran University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematic, Şanlıurfa, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2517-5849), karakusecem@harran.edu.tr

² Harran University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematic, Şanlıurfa, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5819-9997), sevilaykirci@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012557)

ATIF/REFERENCE: Acar, E. & Kırıcı Serenbay, S. (2021). Fuzzy Logic Control Automation for Traffic Signalization System. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1044-1047.

Abstract

Automation systems are important structure that provides needs in many sectors such as manufacturing, construction, electricity, recycling, energy, electronics and informatics. Recently the automation systems have become larger and more complex. Situations that are completely specific and certain can be easy to resolve. However, the solution of problems that contain uncertainty and can't be fully defined is relatively difficult. Therefore, conventional logic is not sufficient because of its strictly defined boundaries. Fuzzy Logic Control is provided by executing the control algorithm in many areas at industrial automation. In this paper, we developed the Fuzzy Logic Control algorithm for a low-level PLC without Fuzzy Logic Control Module. Then, we realized PLC based fuzzy logic control for intersection traffic signaling control.

Keywords: Fuzzy logic, Automation, PLC.

Trafik Sinyalizasyon Sistemi için Bulanık Mantık Kontrol Otomasyonu

Öz

Otomasyon sistemleri imalat, inşaat, elektrik, geri dönüşüm, enerji, elektronik ve bilişim gibi birçok sektörde ihtiyaçları karşılayan önemli yapılardır. Son zamanlarda otomasyon sistemleri daha büyük ve daha karmaşık hale gelmiştir. Tamamen spesifik ve kesin olan durumların çözülmesi kolay olabilir. Ancak belirsizlik içeren ve tam olarak tanımlanamayan problemlerin çözümü nispeten zordur. Bu nedenle, kesin olarak tanımlanmış sınırları nedeniyle geleneksel mantık yeterli değildir. Bulanık Mantık Kontrol, endüstriyel otomasyonda birçok alanda kontrol algoritması çalıştırılarak sağlanmaktadır. Bu makalede, Bulanık Mantık Kontrol Modülü olmayan düşük seviyeli bir PLC için Bulanık Mantık Kontrol algoritmasını geliştirdik. Daha sonra kavşak trafik sinyalizasyon kontrolü için PLC tabanlı bulanık mantık kontrolünü gerçekleştirdik.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, Otomasyon, PLC.

* Corresponding Author: karakusecem@harran.edu.tr

1. Introduction

Automation is the manufacturing systems produced to reduce manpower and ensure that the work is done by machines. Enterprise Resource Planning/ Meaning- ment Enterprise System (ERP/MES), Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), Distributed Control System (DCS), Programmable Logic Controller (PLC), Remote Terminal Unit (RTU), Human Machine Interface (HMI) and sensors are the basis components of the automation systems. PLC (Programmable Logic Controller) is a microprocessor-based device that processes the information it receives from the sensors according to the program given to it and transfers it to the work elements. It is an automation device that is used in the production departments of factories or in the control processes of working machines, can be programmed and can perform automatic work.

PLCs used today have reached a level that cannot be compared with their initial state in terms of features such as the number of inputs and outputs, program memory, and processing capability. The number of inputs and outputs and the processing capability have improved greatly in terms of memory. Thus, it has become the most important element in system automation. It is among the materials preferred in automation due to its unique programming technique, easy identification of its inputs and outputs, having a processor, counter, timer, clock and many more advantages. Recently the automation systems have become larger and more complex. Situations that are completely specific and certain can be easy to resolve. However, the solution of problems that contain uncertainty and cannot be fully defined is relatively difficult. Therefore, conventional logic is not sufficient because of its strictly defined boundaries.

The classical set theory is based on an element is either a member or not a member of a set. Since fuzzy set theory accepts partial memberships in contrast to the classical set theory; while fuzzy set theory allows ambiguous answers, responses of questions in the classical set can be called crisp or classic, like “yes” or “no”. Fuzzy logic uses approximate thinking instead of thinking based on precise values and information is in the form of linguistic expressions. Words like young, tall, hot or high are fuzzy. There is no single quantitative value which defines the term tall. For some situation, 50cm is tall, and for other situation, 90cm is tall. The concept tall has no clean boundary.

2. Material and Method

The first idea of fuzzy logic was introduced by Zadeh in 1965 [1]. He defined the fuzzy set theory which consists of sets with indefinite boundaries. In 1974 [2], Mamdani presented the application of fuzzy logic with the control of the steam engine. In 1976 [3], an industrial application to control cement kilns was developed in Denmark and in 1982, this system began to management. Fuzzy logic implementations are used in many areas such as electronic control systems, automotive industry braking systems, traffic control, home electronics, banks and academic education. Therefore, it has been one of the most important property of fuzzy logic that it allows ambiguous concepts can be expressed as mathematical and many researchers have shown interest in this field ([5]-[10]). Fuzzy logic control system general structure is as follows.

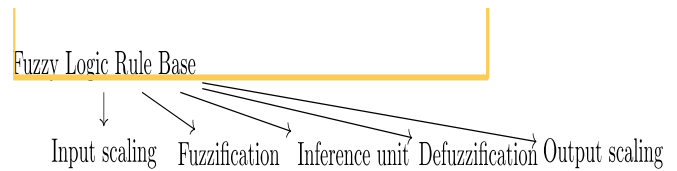


Fig. 1 Fuzzy Logic Control System

Input scaling, fuzzification, inference unit, defuzzification and output scaling components are required to apply fuzzy logic to a real application. Fuzzy set theory permits membership function valued in the interval [0,1]. The value 0 is not a member, while the value of 1 indicates being a full member. Values between (0, 1) belong to the concept of partial membership. Therefore, a membership function $\mu_A(x)$ is associated with a fuzzy set A such that the function maps every element of universe of discourse X to the interval [0, 1].

The mapping is written as: $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$. In this work, the information coming from the sensors is processed with the fuzzy logic control on the micro-controller of PLC or any other controller.

3. Results and Discussion

Traffic signals are traffic control devices used to ensure a regular and safe traffic flow on roads, especially at intersections. The periodic lighting of these illuminated signs at certain times and regulating the traffic flow is called signaling. On the other hand, intersections regulate traffic flow by connecting the intersecting roads of the city. While pre-set traffic light cycle time is used in classic traffic control system, traffic lights and cycle times can be changed at intersections by using proximity sensors with pre-set cycle time. Investigations have been started to calculate signal durations on traffic lights with studies on the control of traffic lights by Webster in 1958. Traffic density at intersections have increased with the increase in the number of private vehicles. Therefore, with the regulation of the traffic flow at intersections, a decrease will be observed in the fuel costs and the gases released from the vehicles to the environment.

In this study, the information coming from the sensors is processed with the fuzzy logic control in the PLC. Input parameters vehicle density of each way of the intersection; output parameters duration of green lights of each way of the intersection were described by Fuzzy logic control in the PLC.

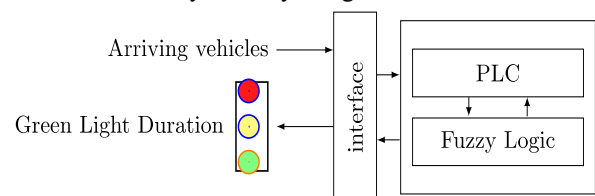


Fig. 2 Parameters of the System

Actual data collected during the day have been used according to observation made at an intersection in Şanlıurfa, the system has been modeled that vehicle density at the intersection is between 0-22 vehicles, the green light duration is between 0-18 seconds. Three different linguistic variables are defined by

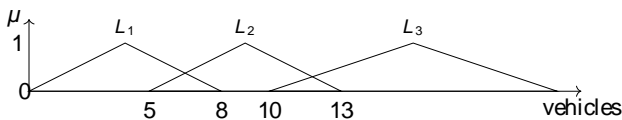
defuzzification input and output variables coming to the automation system as in the below;

Density of vehicles waiting on the queue at the intersection		Green light duration	
Range	Linguistic variables	Signal time	Linguistic variables
0-8	Less(L_1)	0-5	Short(S_1)
5-13	Medium(L_2)	4-10	Medium(S_2)
10-22	High(L_3)	8-18	Long(S_3)

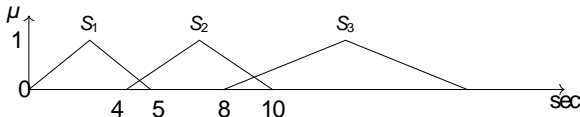
Tablo. 1 Linguistic variables

In this study, the vehicle density on the road is considered as input parameter and the green light duration as output parameter by using the triangle membership function. The roads at the intersection are named road-a, road- b, road-c and road-d respectively. The input variable by observing the vehicle density on the roads is introduced to the system as Less (L_1) for 0-8 vehicles, Medium (L_2) for 5-13 vehicles and High (L_3) for 10-22 vehicles. Green light duration the output variable is introduced to the system as Short (S_1) for 0-5 second, Medium (S_2) for 4-10 second and Long (S_3) for 8-18 second.

The membership function for the arriving vehicles is as follows;



The next figure shows the membership function for the output variable green light duration as follows;



The interface element has been developed with the aid of following figure.



This screen shows which road the green light is on for the moment. Also, the times of the signal lights can be displayed on the PLC.

For the rule based, the road with the highest vehicle density at the intersection will be selected. Then, the green light duration is changed according to the vehicle density of the remaining roads.

1. (road-a=less) & (road-b=less) & (road-c=medium) & (road-d=high)=> (road-d)
2. (road-a=less) & (road-b=less) & (road-c=high) & (road-d=medium)=> (road-c)
3. (road-a=less) & (road-b=medium) & (road-c=medium) & (road-d=high)=> (road-d)
4. (road-a=medium) & (road-b=less) & (road-c=medium) & (road-d=high)=> (road-d)
5. (road-a=less) & (road-b=medium) & (road-c=high) & (road-d=less)=> (road-c)
6. (road-a=medium) & (road-b=less) & (road-c=high) & (road-d=less)=> (road-c)
7. (road-a=less) & (road-b=high) & (road-c=medium) & (road-d=less)=> (road-b)
8. (road-a=medium) & (road-b=high) & (road-c=medium) & (road-d=less)=> (road-b)
9. (road-a=less) & (road-b=high) & (road-c=less) & (road-d=medium)=> (road-d)

Fig. 3 Rule Base for Road Selection

For 3rd rule in figure 3, when the road-d is in high density at the intersection, road-d will be selected and the green light will be active for this road.

1. (road-a=medium) & (road-b=less) & (road-c=medium) & (road-d=less)=> (green light time=decrease)
2. (road-a=high) & (road-b=less) & (road-c=less) & (road-d=high)=> (green light time=decrease)
3. (road-a=high) & (road-b=high) & (road-c=less) & (road-d=less)=> (green light time=decrease)
4. (road-a=less) & (road-b=medium) & (road-c=less) & (road-d=medium)=> (green light time=decrease)
5. (road-a=medium) & (road-b=medium) & (road-c=less) & (road-d=less)=> (green light time=decrease)
6. (road-a=less) & (road-b=less) & (road-c=less) & (road-d=high)=> (green light time=increase)
7. (road-a=less) & (road-b=less) & (road-c=high) & (road-d=less)=> (green light time=increase)
8. (road-a=less) & (road-b=medium) & (road-c=less) & (road-d=less)=> (green light time=increase)
9. (road-a=less) & (road-b=less) & (road-c=less) & (road-d=less)=> (green light time=increase)

Fig. 4 Rule Base for Green Light Duration

In order to be able to decide on the green light duration after the path is selected, the green light duration for road-d will be increased in the case that the road-d is at high intensity in the 6rd rule in figure 4.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, we present the philosophy of fuzzy logic and show its availability with automation in traffic signalization system. It is observed from the graph below that Fuzzy logic method is more efficient both in terms of economy and time when traffic signaling control is performed with fuzzy logic and classical methods. with the regulation of the traffic flow at intersections, a decrease will be observed in the queue length at the intersection and the harmful gases released from the vehicles to the environment.

5. Acknowledge

In that paper, we observed that Fuzzy logic method is more efficient in terms of economy, time and environment when traffic signaling control is performed with fuzzy logic and classical methods.

References

- [1] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", *Intl J. Information Control* 8: 338-353ü, 1965.
- [2] E. H. Mamdani and S. Assilion, "An Experiment in Linguistic Synthesis With a Fuzzy Logic Controller", *Intl J. Man-Machine Stud* 7:1-13, 1974.
- [3] L. P. Holmblad and J. J. Ostergaard J, Control of Cement Kiln by Fuzzy Logic, Gupta M. M, Sarchez E, Fuzzy Information and Decision Processes, North Holland, pp. 389-399, 1982.

- [4] S. Chiu and S. Chand, "Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic", Proceedings of the Intelligent Vehicles '92 Symposium, 98-107, 1992.
- [5] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant", Proc. IEEE, 121(12), 1585-1588, 1974.
- [6] T. Munakata and Y. Jani, "Fuzzy systems: an overview, . *Communications of the ACM*, 37(3), 69-76, 1994.
- [7] L. A. Zadeh, G. J. Klir and B. Yuan, "Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers", World Scientific, 1996.
- [8] U. Ozkaya, and L. Seyfi, "A novel fuzzy logic model for intelligent traffic systems". *Electronics World*, 122(1960), 36-39, 2016.
- [9] A. P. Akgungor and A. G. R. Bullen, Analytical delay models for signalized intersections, 69th ITE Annual Meeting, Nevada, USA, 1999.
- [10] M. Collotta, L. L. Bello, and G. Pau, "A novel approach for dynamic traffic lights management based on Wireless Sensor Networks and multiple fuzzy logic controllers", *Expert Systems with Applications*, 42 (13), 5403-5415, 2015.



On Harmonic Univalent Functions Involving (p,q)-Poisson Distribution Series

Sibel Yalçın¹, Hasan Bayram^{2*}

¹ Mathematics/Faculty of Arts and Sciences, Bursa Uludag University, Turkey ORCID ID 0000-0002-0243-8263 syalcin@uludag.edu.tr

^{2*} Mathematics/Faculty of Arts and Sciences, Bursa Uludag University, Turkey ORCID ID 0000-0001-8106-6834 hbayram@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012504)

ATIF/REFERENCE: Yalçın, S. & Bayram H. (2021). On Harmonic Univalent Functions Involving (p,q)-Poisson Distribution Series. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1048-1051.

Abstract

Harmonic functions are a classic title in the class of geometric functions. Many researchers have studied these function classes from past to present, and since it has a wide range of applications, it is still a popular class. In this study, we will examine harmonic univalent functions, a subclass of harmonic functions. In this study, a subclass of harmonic univalent functions will be examined. Let H denote the class of continuous complex-valued harmonic functions which are harmonic in the open unit disk $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ and let A be the subclass of H consisting of functions which are analytic in U . A function harmonic in U may be written as $f = h + \bar{g}$, where h and g are analytic in U . We call h the analytic part and g co-analytic part of f . A necessary and sufficient condition for f to be locally univalent and sense-preserving in U is that $|h'(z)| > |g'(z)|$ (see [3]). Throughout this paper, we will use introductory notations and delineations of the (p, q)- calculus.

The aim of the present paper is to find connections between (p,q)-starlike harmonic univalent functions involving (p,q)-Poisson distribution series.

Keywords: Complex harmonic functions, univalent functions, (p,q)-calculus, (p,q)-starlike functions.

(p,q)-Poisson Dağılım Serisi İçeren Harmonik Yalınkat Fonksiyonlar Üzerine

Öz

Harmonik fonksiyonlar, geometrik fonksiyonlar teorisinde klasik bir başlıktır. Geçmişten günümüze bir çok araştırmacı Harmonik fonksiyon sınıflarını ve bu fonksiyonların geniş uygulama alanlarını çalışmışlardır. Bu konu günümüzde de hala popülerliğini korumaktadır. Biz bu çalışmada harmonic yalınkat fonksiyonların bir alt sınıfını çalışacağız. Bu makalede harmonic fonksiyonların bir alt sınıfını tanımlayacağız. H , $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ açık birim disk olmak üzere; U diskinde kompleks değerli sürekli fonksiyonların oluşturduğu sınıfı temsil etsin. A ise birim diskte analitik fonksiyonların oluşturduğu ve H sınıfının alt sınıfı olsun. Bir fonksiyon U açık birim diskinde harmonik ise h ve g analitik fonksiyon olmak üzere $f = h + \bar{g}$ tipinde yazılabilir. Burada h fonksiyonu f fonksiyonunun analitik kısmı g ise co-analitik kısmı olarak tanımlanır. f fonksiyonunun U birim diskinde yerel yalınkat ve yön koruyan olması için gerek ve yeter şart $|h'(z)| > |g'(z)|$ olmasıdır (bkz. [3]). Bu makale boyunca, (p, q)- hesabının giriş notasyonlarını ve tasvirlerini kullanacağız. Bu makalenin amacı, (p,q)-Poisson dağılım serilerini içeren (p,q)-yıldız benzeri harmonik tek değerli fonksiyonlar arasındaki bağlantıları bulmaktır.

Anahtar Kelimeler: Kompleks harmonik fonksiyonlar, univalent fonksiyonlar, (p,q)-hesabı, (p,q)-yıldızlı fonksiyonlar.

* Corresponding Author: hbayram@uludag.edu.tr

1. Introduction

From the summary text, without loss of generality, we may write

$$h(z) = z + \sum_{k=2}^{\infty} a_k z^k \text{ and } g(z) = \sum_{k=2}^{\infty} b_k z^k. \quad (1)$$

Let SH denote the class of functions $f = h + \bar{g}$ which are harmonic, univalent and sense-preserving in U for which $h(0) = h'(0) - 1 = 0 = g(0)$. One shows easily that the sense-preserving property implies that $|b_1| < 1$. The subclass SH^0 of SH consist of all functions in SH which have the additional property $b_1 = 0$. Clunie and Sheil-Small [3] investigated the class SH as well as its geometric subclasses and obtained some coefficient bounds.

Indeed Conception of q -calculus is the post-quantum calculus, denoted (p, q) -calculus. The (p, q) - integer was introduced in order to give a conception or to unify several forms of q -oscillator algebras, well known in the earlier physics literature related to the representation proposition of single parameter amount algebras [2]. Throughout this paper, we will use introductory notations and delineations of the (p, q) - calculus as follows: Let $p > 0, q > 0$. For any non-negative integer k , the (p, q) -integer number k , denoted by $[k]_{p,q}$ is

$$[k]_{p,q} = \frac{p^k - q^k}{p - q}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad [0]_{p,q} = 0.$$

The binary-introductory number is a natural conception of the q - number, that is,

$$[k]_q = \frac{1 - q^k}{1 - q}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad q \neq 1.$$

Likewise, the (p, q) -differential operator of a function f , analytic in \mathbb{U} is defined by

$$D_{p,q}f(z) = \frac{f(pz) - f(qz)}{(p - q)z}, \quad p \neq q, \quad z \in \mathbb{U}.$$

One can easily show that $D_{p,q}f(z) \rightarrow f(z)$ as $p \rightarrow 1^-$ and $q \rightarrow 1^-$. It is clear that q -integer and (p, q) -integers differs, that is, we cannot obtain (p, q) -integers just by replacing q by q/p in the definition of q -integers. Also, clearly $\lim_{q \rightarrow 1^-} \lim_{p \rightarrow 1^-} [k]_{p,q} = k$. For details on q -calculus and (p,q) -calculus, one can refer to [2, 5,10].

In 1990, Ismail et. al. [4] used q -calculus, in the theory of analytic univalent functions by defining a class of complex valued functions that are analytic on the open unit disk \mathbb{U} with the normalizations $f(0) = 0, f'(0) = 1$, and $|f(qz)| \leq |f(z)|$ on \mathbb{U} for every $q, q \in (0,1)$. Motivated by these authors, several inquiries used the proposition of analytic univalent functions and q - calculus; for illustration see [8] and [9]. The q - difference operator of analytic functions h and g given by (1) are by description, given as follows [10].

$$D_{p,q}h(z) = \begin{cases} \frac{h(pz) - h(qz)}{(p - q)z} & ; z \neq 0 \\ h'(0) & ; z = 0 \end{cases} \text{ and } D_{p,q}g(z) = \begin{cases} \frac{g(pz) - g(qz)}{(p - q)z} & ; z \neq 0 \\ g'(0) & ; z = 0 \end{cases} \quad (2).$$

Thus, for the function h and g of the form (1), we have

$$D_{p,q}h(z) = 1 + \sum_{k=2}^{\infty} [k]_{p,q} a_k z^{k-1} \text{ and } D_{p,q}g(z) = \sum_{k=1}^{\infty} [k]_{p,q} b_k z^{k-1}.$$

A harmonic function $f = h + \bar{g}$ defined by (1) is said to be q -harmonic, locally univalent and sense-preserving in U denoted by $SH_{p,q}$, if and only if the second dilatation $w_{p,q}$ satisfies the condition

$$|w_{p,q}(z)| = \left| \frac{D_{p,q}g(z)}{D_{p,q}h(z)} \right| < 1 \quad (3)$$

where $0 < p, q < 1$ and $z \in U$. Note that as $p \rightarrow 1^-$ and $q \rightarrow 1^-$, $SH_{p,q}$ reduces to the family SH (see [3]).

Denote by $SH_{p,q}^*(\alpha)$ the subclass of $SH_{p,q}$ consisting of functions f of the form (1) that satisfy the condition

$$\text{Re} \left[\frac{z D_{p,q}h(z) - \overline{z D_{p,q}g(z)}}{h(z) + \overline{g(z)}} \right] > \alpha \quad (4)$$

where is $0 < p, q < 1, z \in U, 0 \leq \alpha < 1, D_{p,q}h(z)$ and $D_{p,q}g(z)$ are defined by (2) (see for details [1]). We will call (p,q) -starlike harmonic functions of order α .

Define $TSH_{p,q}^*(\alpha) = SH_{p,q}^*(\alpha) \cap T$ where T consisting of the functions $f = h + \bar{g}$ in $SH_{p,q}$ so that $h(z)$ and $g(z)$ are of the form

$$h(z) = z - \sum_{k=2}^{\infty} |a_k| z^k, \quad g(z) = \sum_{k=1}^{\infty} |b_k| z^k, \quad |b_1| < 1. \quad (6)$$

By suitably specializing the parameters, the class $SH_{p,q}^*(\alpha)$ reduce to the various subclasses of harmonic univalent functions. Such as, ([6], [7], [9], [11]).

A variable x is said to (p,q) -Poisson Distribution if it takes the values $0, 1, 2, 3, \dots$ with probabilities $e_{p,q}^{-r}, \frac{r}{[1]_{p,q}!} e_{p,q}^{-r}, \frac{r^2}{[2]_{p,q}!} e_{p,q}^{-r}, \dots$, respectively, where r a parameter and

$$e_{p,q}^x = 1 + \frac{x}{[1]_{p,q}!} + \frac{x^2}{[2]_{p,q}!} + \dots + \frac{x^k}{[k]_{p,q}!} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{[k]_{p,q}!} \quad (7)$$

is (p,q) -analogue of the exponential function e^x and

$$[k]_{p,q}! = [1]_{p,q} [2]_{p,q} \dots [k]_{p,q}$$

is (p,q) -analogue of the factorial function $k! = 1.2.3 \dots k$. Thus, for (p,q) -Poisson Distribution, we have

$$P_{p,q}^r(x = k) = \frac{r^k}{[k]_{p,q}!} e_{p,q}^{-r}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \leq 1 - \alpha \quad (13)$$

Now, we introduce a power series whose coefficients are probabilities of the (p,q)-Poisson Distribution, that is

$$P_{p,q}^r(z) = z + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{r^{k-1} e_{p,q}^{-r}}{[k-1]_{p,q}!} z^k \quad (z \in U).$$

Note that, by using ratio test we conclude that the radius of convergence of the above power series is infinity. Now, for $r, s > 0$ and $0 < p, q < 1$, we introduce the analytic functions

$$\begin{aligned} P_{p,q}^{r,s}(z) &= z + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{r^{k-1} e_{p,q}^{-r}}{[k-1]_{p,q}!} z^k \quad \text{and} \quad P_{p,q}^s(z) \\ &= z + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{s^{k-1} e_{p,q}^{-s}}{[k-1]_{p,q}!} z^k. \end{aligned} \quad (8)$$

Let us define harmonic functions $P_{p,q}^{r,s}$ and $TP_{p,q}^{r,s}$ as

$$\begin{aligned} P_{p,q}^{r,s}(z) &= P_{p,q}^r(z) + \overline{P_{p,q}^s(z)} - z \quad \text{and} \quad TP_{p,q}^{r,s} \\ &= 2z - P_{p,q}^r(z) + \overline{P_{p,q}^s(z)} - z. \end{aligned} \quad (9)$$

It is clear that $P_{p,q}^{r,s} \in SH_{p,q}^0$ and $TP_{p,q}^{r,s} \in T$.

In this study, we define two functions $P_{p,q}^{r,s}$ and $TP_{p,q}^{r,s}$ by (p,q)-Poisson Distribution and we aim to find the conditions for these functions to belong to the class of (p,q)-harmonic functions.

To demonstrate our theorem we will use the following lemma.

Lemma 1. [1] Let $f = h + \bar{g}$ be given by (1). If for some α ($0 \leq \alpha < 1$) and the inequality

$$\sum_{k=2}^{\infty} ([k]_{p,q} - \alpha) |a_k| + \sum_{k=1}^{\infty} ([k]_{p,q} + \alpha) |b_k| \leq 1 - \alpha \quad (10)$$

is hold, then f is harmonic, sense-preserving, univalent in U and $f \in SH_{p,q}^*(\alpha)$.

Remark 2. [1] Let $f = h + \bar{g}$ be given by (6). Then $f \in TSH_{p,q}^*(\alpha)$ if and only if the coefficient condition (10) is satisfied.

2. Main Results

Theorem 3. If $r, s > 0, 0 < p, q < 1, 0 \leq \alpha < 1$ and the inequality

$$\begin{aligned} (p+q)(r+s) + e_{p,q}^{-r(1-p)} + e_{p,q}^{-r(1-q)} + e_{p,q}^{-s(1-p)} \\ + e_{p,q}^{-s(1-q)} \\ \leq 2(1-\alpha)(1 + e_{p,q}^{-r}) + 2(1+\alpha)e_{p,q}^{-s} \end{aligned} \quad (12)$$

is satisfied then $P_{p,q}^{r,s} \in SH_{p,q}^{*,0}(\alpha)$.

Proof. Let $r, s > 0, 0 < p, q < 1, 0 \leq \alpha < 1$. Referring Lemma 1, It is sufficient to show that the inequality

$$\sum_{k=2}^{\infty} \left\{ ([k]_{p,q} - \alpha) \frac{r^{k-1} e_{p,q}^{-r}}{[k-1]_{p,q}!} + ([k]_{p,q} + \alpha) \frac{s^{k-1} e_{p,q}^{-s}}{[k-1]_{p,q}!} \right\}$$

is satisfied to show that the function $P_{p,q}^{r,s}(z) = P_{p,q}^r(z) + \overline{P_{p,q}^s(z)} - z$ belongs to the class $SH_{p,q}^{*,0}(\alpha)$ where $P_{p,q}^r$ and $P_{p,q}^s$ are given by (8). Then, using the inequality (7), we obtain

$$\begin{aligned} & \sum_{k=2}^{\infty} \left\{ ([k]_{p,q} - \alpha) \frac{r^{k-1} e_{p,q}^{-r}}{[k-1]_{p,q}!} + ([k]_{p,q} + \alpha) \frac{s^{k-1} e_{p,q}^{-s}}{[k-1]_{p,q}!} \right\} \\ &= \sum_{k=2}^{\infty} \left\{ \left(\frac{p+q}{2} [k-1]_{p,q} + \frac{p^{k-1} + q^{k-1}}{2} - \alpha \right) \frac{r^{k-1} e_{p,q}^{-r}}{[k-1]_{p,q}!} \right. \\ & \quad \left. + \left(\frac{p+q}{2} [k-1]_{p,q} + \frac{p^{k-1} + q^{k-1}}{2} + \alpha \right) \frac{s^{k-1} e_{p,q}^{-s}}{[k-1]_{p,q}!} \right\} \\ &= \frac{p+q}{2} \sum_{k=2}^{\infty} \frac{r^{k-1} e_{p,q}^{-r}}{[k-2]_{p,q}!} \\ & \quad + \sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{p^{k-1} + q^{k-1}}{2} - \alpha \right) \frac{r^{k-1} e_{p,q}^{-r}}{[k-1]_{p,q}!} \\ & \quad + \frac{p+q}{2} \sum_{k=2}^{\infty} \frac{s^{k-1} e_{p,q}^{-s}}{[k-2]_{p,q}!} + \sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{p^{k-1} + q^{k-1}}{2} + \alpha \right) \frac{s^{k-1} e_{p,q}^{-s}}{[k-1]_{p,q}!} \\ &= \frac{(p+q)r e_{p,q}^{-r}}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{r^k}{[k]_{p,q}!} + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-r} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(pr)^k}{[k]_{p,q}!} \\ & \quad + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-r} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(qr)^k}{[k]_{p,q}!} - \alpha e_{p,q}^{-r} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{r^k}{[k]_{p,q}!} \\ & \quad + \frac{(p+q)s e_{p,q}^{-s}}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{s^k}{[k]_{p,q}!} + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-s} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(ps)^k}{[k]_{p,q}!} \\ & \quad + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-s} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(qs)^k}{[k]_{p,q}!} \\ & \quad + \alpha e_{p,q}^{-s} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{s^k}{[k]_{p,q}!} \\ &= \frac{p+q}{2} r + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-r} (e_{p,q}^{rp} - 1) + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-r} (e_{p,q}^{rq} - 1) \\ & \quad - \alpha e_{p,q}^{-r} (e_{p,q}^r - 1) + \frac{p+q}{2} s \\ & \quad + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-s} (e_{p,q}^{sp} - 1) + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-s} (e_{p,q}^{sq} - 1) \\ & \quad + \alpha e_{p,q}^{-s} (e_{p,q}^s - 1). \end{aligned}$$

Therefore, inequality (13) holds true if

$$\frac{(p+q)(r+s)}{2} + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-r(1-p)} + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-r(1-q)} + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-s(1-p)} + \frac{1}{2} e_{p,q}^{-s(1-q)}$$

$$-(1-\alpha)e_{p,q}^{-r} - (1+\alpha)e_{p,q}^{-s} \leq 1 - \alpha$$

which is equivalent to (12). Thus, the proof of Theorem 3.

Corollary 4. If $r, s > 0, 0 < p, q < 1, 0 \leq \alpha < 1$, then the function $TP_{p,q}^{r,s}$ defined by (9) belongs to the class $TSH_{p,q}^{*,0}(\alpha)$ if and only if satisfied inequality (12).

4. Conclusions and Recommendations

The novelty of the above results consists in the fact that using some recent results we found sufficient conditions such that the function $P_{p,q}^{r,s}$ defined by (9) belongs to the class $SH_{p,q}^{*,0}(\alpha)$.

Moreover, for appropriate choices of the parameters we found a few interesting special cases of the above main results.

Finally, new subclass analysis can be done using this method in the future

References

- [1] Alsobah, A., Darus, M. (2019). On Subclasses of Harmonic Univalent Functions Defined by Jackson (p,q) Derivative, *Journal of Analysis*, 10(3), 123-130.
- [2] Chakrabarti, R., Jagannathan, R. (1991). A (p, q)-oscillator realization of two- parameter quantum algebras, *J. Phys. A* 24(13), L711.L718.
- [3] Clunie, J., Sheil-Small, T. (1984). Harmonic univalent functions, *Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A I Math.* 9, 3-25.
- [4] Ismail, M. E. H., Merkes, E., Steyr, D. (1990). A generalization of starlike functions, *Complex Variables Theory Appl.* 14(1), 77-84.
- [5] Jackson, F. H. (1908). On q-functions and a certain difference operator, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, Vol:46, 253-281.
- [6] Jahangiri, J.M. (2018). Harmonic univalent functions defined by q- calculus operators, *Inter.J. Math. Anal. Appl.* 5(2), 39.43.
- [7] Jahangiri, J.M. (1999). Harmonic functions starlike in the unit disk, *J. Math. Anal. Appl.* 235, 470-477.
- [8] Mustafa, J.M. Nezir, V. (2021). Analytic functions expressed with q-Poisson distribution series, *Turkish Journal of Science*, 6(1), 24-30.
- [9] Nazeer, W., Mehmood, Q., Kang, S.M., Haq, A. U. (2019). An application of Binomial distribution series on certain analytic functions, *Journal of Computational Analysis and Applications*, 26, 11-17.
- [10] Porwal, S., Srivastava, D. (2017). Harmonic starlikeness and convexity of integral operators generated by Poisson distribution series, *Math. Morav.* 21(1) 51-60.
- [9] Silverman, H., Silvia, E.M. (1999). Subclasses of harmonic univalent functions, *New Zeland J. Math.* 28 275-284.
- [10] Sahai, V., Yadav, S. (2007). Representations of two parameter quantum algebras and p, q-special functions, *J. Math. Anal. Appl.* 335, 268.279.
- [11] Seoudy, T. M., Aouf, M.K. (2016). Coefficient estimates of new classes of q-starlike and q-convex functions of complex order, *J. Math. Inequal.* 10(1), 135-145.



A Numerical Study on Determining the Effect of Original Evaporator Design on DX-SAHP System Performance

Rıdvan Yakut^{1*}

^{1*} Kafkas University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Kars, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4145-7280),
ryakut@kafkas.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012486)

ATIF/REFERENCE: Yakut, R. (2021). A Numerical Study on Determining the Effect of Original Evaporator Design on DX-SAHP System Performance. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1052-1055.

Abstract

Greenhouse gases caused by non-renewable energy sources bring about global warming and climate change. Therefore, renewable energy sources, which are clean, economical and unlimited energy sources, come to the fore. In the numerical study carried out, a unique finned evaporator design was made to increase the efficiency of the integrated direct expansion solar-assisted heat pump systems (DX-SAHP). In the numerical analysis carried out in the ANSYS Fluent program, it was determined that the COP and electrical efficiency of the system were in good agreement with the results in the literature. As a result of the numerical analysis, COP was obtained as 3.88 and 3.60 for 0.025 kg/s and 0.050 kg/s flow rates, respectively. It was also determined that the electrical efficiency increased by 12% compared to natural convection in both flow rates.

Keywords: DX-SAHP, renewable energy, heat pump, evaporator design, numerical analysis.

Orijinal Evaporatör Tasarımının DX-SAHP Sistem Performansına Etkisinin Belirlenmesi Üzerine Sayısal Bir Çalışma

Öz

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının neden olduğu sera gazları küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu nedenle temiz, ekonomik ve sınırsız enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Gerçekleştirilen sayısal çalışmada, entegre doğrudan genişlemeli güneş destekli ısı pompası sistemlerinin (DX-SAHP) verimliliğini artırmak için benzersiz bir kanatlı evaporatör tasarımı yapılmıştır. ANSYS Fluent programında yapılan sayısal analizde sistemin COP ve elektriksel veriminin literatürdeki sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Sayısal analiz sonucunda 0,025 kg/s ve 0,050 kg/s debiler için COP sırasıyla 3,88 ve 3,60 olarak elde edilmiştir. Ayrıca her iki akış hızında da elektriksel verimin doğal konveksiyona göre %12 arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: DX-SAHP, yenilenebilir enerji, ısı pompası, evaporatör tasarımı, nümerik analiz.

* Corresponding Author: ryakut@kafkas.edu.tr

1. Introduction

World population and energy consumption are increased by more than 10% in the last 10 years. Due to increasing energy requirement, mankind has turned to unlimited energy sources such as renewable energy from limited energy sources such as fossil and nuclear energy. The most preferred method among renewable energy sources is energy production with solar energy. According to the International Renewable Energy Agency data, photovoltaic (PV) systems constitute 98.7% of the electrical energy produced by solar sources (Irena, 2018). Therefore, the efficiency of solar energy generation is directly related to the efficiency of PV cells. PV systems provide clean, environmentally friendly, economical and unlimited energy production by converting the energy from the sun directly into energy.

However, cells made of different materials radiate at different wavelengths depending on the characteristics of the material which they are produced and turn into electrical energy (Kandilli, Külahlı, & Savcı, 2013). Solar radiation needs energy in the range of 0 to 1.12 eV in order to generate voltage by removing electrons from the photovoltaic cell (Masters, 2004). In Figure 1, the variation of the energy required to remove electrons with photons with wavelength is given. If the energy of the photon is above this range, it will be stored as heat in the system and cause the system efficiency to decrease (Cuce & Riffat, 2017; Ömeroğlu, 2018b).

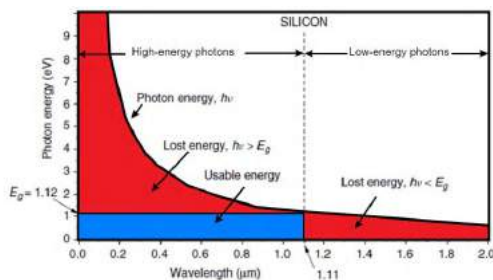


Figure 1. Wavelength and band gap energy (Masters, 2004)

PV-T systems are designed to convert solar energy more efficiently produce both heat and electricity at the same time. Although PV-T systems are successful systems in energy and heat production, many parameters, especially design, operation and climate parameters, affect the performance of PV-T systems (Abdullah, Misha, Tamaldin, Rosli, & Sachit, 2019). Although the design and operation parameters can be calculated numerically and optimum conditions can be determined, since climatic parameters such as solar radiation, relative humidity, wind velocity, ambient temperature, and accumulated dust change constantly depending on ambient conditions, it is not possible to determine them numerically (Abdullah et al., 2019). In addition, the long-term decrease in the efficiency of solar cells that are constantly exposed to solar radiation makes it difficult to determine the performance of solar energy systems numerically (Chegaar, Ouennoughi, & Guechi, 2004; Cuce & Cuce, 2014; Cuce, Cuce, & Bali, 2013; Du, Hu, & Kolhe, 2012). Therefore, these parameters should be taken into account when determining the amortization periods of PV-T systems (Ozakin, Yakut, & Khalaji, 2020). Although the determination of PV-T system efficiency by numerical analysis involves uncertainties, numerical analysis is the most effective method in determining the performance of different designs quickly, economically and easily. Computational fluid dynamics (CFD) is important in determining the effect of basic design and operating parameters on system performance with high accuracy (Kalkan, Ezan, Duquette, Yilmaz Balaman, & Yilanci, 2019)

In the present study, the efficiency coefficient (COP) and electrical efficiency of the photovoltaic evaporator with the original channel design in the photovoltaic thermal solar-assisted heat pump (PVT-SAHP) system were determined using the ANSYS Fluent program.

2. Material and Method

2.1. PVT-SAHP System

The PV-SAHP system operates on the principle of using the heat drawn from the photovoltaic system as source heat in the heat pump. The schematic representation of the PVT-SAHP system is shown in Figure 2. PVT-SAHP cooling systems generally consist of PV panel used as evaporator, compressor, condenser, and expansion valve. SAHP has two types as direct expansion SAHP (DXSAHP) and indirect expansion SAHP (IDX-SAHP) according to the connection type of solar collector and heat pump evaporator (Wang, Guo, Zhang, Yang, & Mei, 2017). In the present study simulation is based on DXSAHP system.

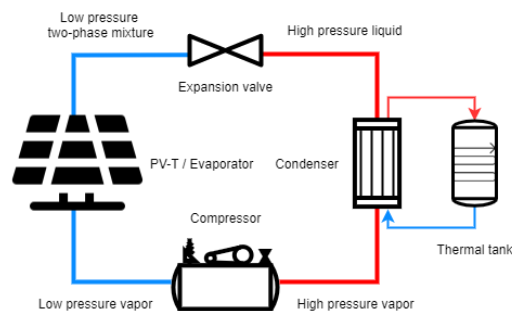


Figure 2. Schematic representation of the DXSAHP system.

The numerical study was carried out for 1600×1000 mm evaporator size, solar radiation of 1000 W/m². At this intensity of radiation, the cell temperature is approximately 85 °C. The variation of the electrical efficiency against the temperature values reached by the photovoltaic cells in the uncooled state is given in Figure 3.

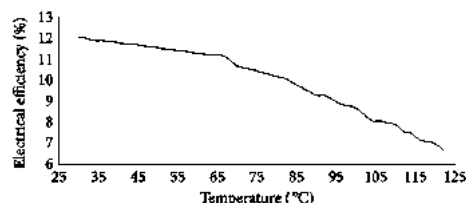


Figure 3. The electrical efficiency of uncooled PV cells by temperature (Ömeroğlu, 2018a).

Ozakin created the COP – evaporation temperature graph based on the values in the literature (Ozakin et al., 2020). In the study, COP values were calculated based on the graph in Figure 4.

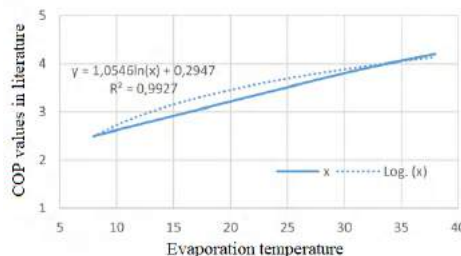


Figure 4. Variation of COP values in the literature versus evaporation temperature (Ozakin et al., 2020).

2.2. Numerical Model

The numerical model of the DX-SAHP system, in which the COP and electrical efficiency are calculated, is given in Figure 5.

a. b.

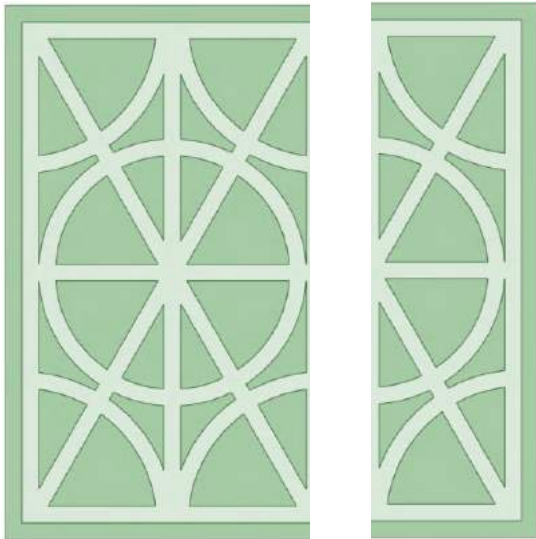


Figure 5. a. Numerical micro-channel model, b. symmetry model

The water is at 1 atm pressure and 293K conditions at the heat pump inlet, flows through the originally designed micro-channel and removes the heat from the photovoltaic system. The boundary conditions of the numerical model are given in Table 1.

Table 1. Boundary conditions

Model	Symmetry
Fluid	Water
Heat Flux	1000 W/m ²
Inlet	0.025 – 0.050 kg/s
Outlet	Pressure Outlet
Other Surfaces	Wall
Number of Iteration	200
Number of Mesh	466346

The designed micro-channel is suitable for symmetric modeling; therefore, the symmetric model was used in the analysis. Thus, both analyzes were solved in a shorter time and more meshes were created on the model. The analyzes were calculated to converge at 250 iterations.

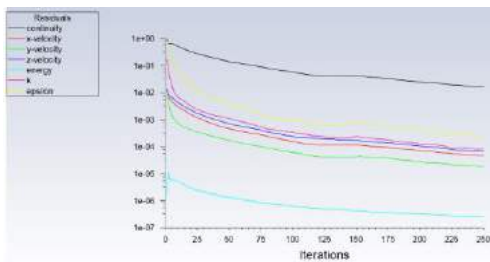


Figure 6 . Scaled residuals

Mesh parameters are important for obtaining accurate results in numerical analysis. A good mesh provides convergence of the problem. Although the mesh quality increases as the mesh number increases, generating more mesh than the optimum mesh number has no effect on the results and increases the solution time. Therefore, it is necessary to determine the optimum mesh number in the analysis. Although mesh metric contains many parameters, the three most important parameters are aspect ration, skewness and orthogonal quality. In numerical analysis, it is not desired that the aspect ratio value be higher than 30, and the smaller it is, the more accurate results are obtained. Another important mesh parameter, the skewness value should be close to 0, and the orthogonal quality should be close to 1.

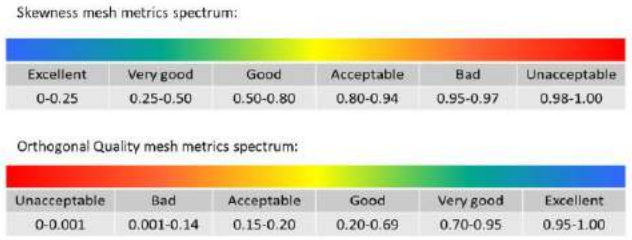


Figure 7. Skewness and orthogonal quality spectrums (Matsson, 2021).

As a result of the mesh independence analysis are given in Figure 8. The optimum mesh number was determined as approximately 750,000 and the studies were carried out on this mesh number.

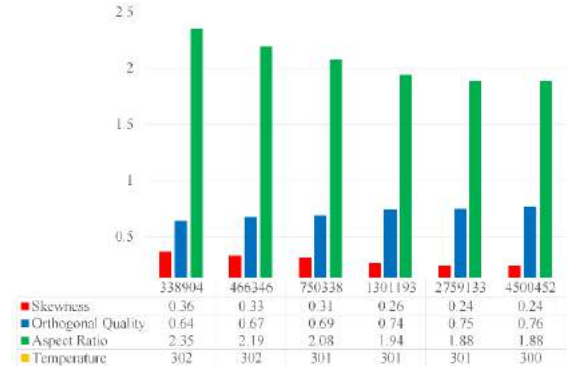


Figure 8. Mesh independence analysis results

2.3. Governing Equations

Three-dimensional continuity, turbulent energy, and turbulent momentum equations are solved with ANSYS Fluent under the appropriate boundary condition. The conservation equations for turbulent flow in cartesian coordinates are written as follows [7-8].

Continuity equation

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

The governing equation for solid

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_s \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = 0 \quad (2)$$

Momentum equation

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (3)$$

Energy equation

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu_l}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right] \quad (4)$$

Transport equation for k

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon \quad (5)$$

Transport equation for ε

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_t \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

The values of the empirical constants in the equation are given below

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, C_\mu = 0.09, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92$$

3. Results and Discussion

The temperature contours are given in Figure 9. It was observed that the surface temperature in the inlet region was low in both flow rates. In both flow rates, it was observed that heat transfer improved as turbulence intensity increased with the flow rate in the inlet region. However, since the temperature of the fluid increases towards the channel outlet, it has been observed that the surface temperature is high even where the flow rate is relatively high. Especially at 0.025 kg/s flow rate, although there are channels with high flow velocity in the bottom right corner of the channel, it has been observed that the surface temperatures are high. As a result of the analysis, the average surface temperatures were calculated as 301 K for 0.025 kg/s and 298 K for 0.050 kg/s.

Stream lines obtained in the designed microchannel are given in Figure 10. It has been observed that the flow was stationary in some places in the channel. Flow velocity increased even more in narrow sections. In addition, the flow rate in the horizontal channels were almost stationary in both flow rates. As a result of the analysis, average flow velocities were calculated as 0.017 m/s for 0.025 kg/s flow and 0.033 m/s for 0.050 kg/s.

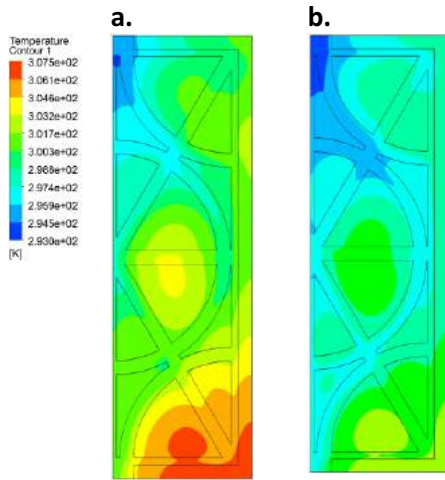


Figure 11. Temperature contours for a. 0.025 kg/s, b. 0.050 kg/s flow rates.

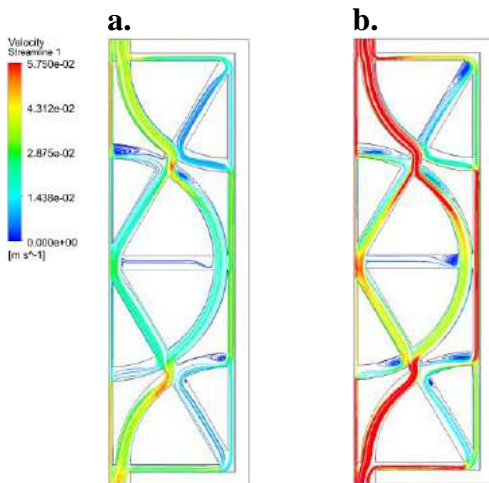


Figure 12. Velocity stream lines for a. 0.025 kg/s, b. 0.050 kg/s flow rates.

4. Conclusions and Recommendations

Average surface temperatures and average flow rates were determined for the DXSAHP system. The increase in electrical efficiency and COP values are given in Table 2.

Table 2. COP and electrical efficiency results

Flow rate	COP	Electrical efficiency
0.025 kg/s	3.88	~% 12
0.050 kg/s	3.60	~% 12

As a result of the analysis, it was determined that cooling the DXSAHP system with an originally designed microchannel increases the electrical efficiency by approximately 12% in both flow rates. In addition, the COP was obtained as 3.88 at low flow rate and 3.60 at high flow rate.

References

Abdullah, A. L., Misha, S., Tamaldin, N., Rosli, M. A. M., & Sachit, F. A. (2019). A Review: Parameters affecting the PVT collector performance on the thermal, electrical, and overall efficiency of PVT system. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 60(2), 191-232.

Chegaar, M., Ouennoughi, Z., & Guechi, F. (2004). Extracting dc parameters of solar cells under illumination. *Vacuum*, 75(4), 367-372.

Cuce, E., & Cuce, P. M. (2014). Improving thermodynamic performance parameters of silicon photovoltaic cells via air cooling. *International Journal of Ambient Energy*, 35(4), 193-199.

Cuce, E., Cuce, P. M., & Bali, T. (2013). An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters. *Applied Energy*, 111, 374-382.

Cuce, E., & Riffat, S. B. (2017). A smart building material for low/zero carbon applications: heat insulation solar glass—characteristic results from laboratory and in situ tests. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12(2), 126-135.

Du, B., Hu, E., & Kolhe, M. (2012). Performance analysis of water cooled concentrated photovoltaic (CPV) system. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(9), 6732-6736.

Irena, R. C. S. (2018). International Renewable Energy Agency (IRENA). *Abu Dhabi, UAE*.

Kalkan, C., Ezan, M. A., Duquette, J., Yilmaz Balaman, Ş., & Yilanci, A. (2019). Numerical study on photovoltaic/thermal systems with extended surfaces. *International Journal of Energy Research*, 43(10), 5213-5229.

Kandilli, C., Külahlı, G., & Savcı, G. (2013). Fotovoltaik Termal (PVT) Sistem 2D Termodinamik Modellenmesi ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması, 11. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17, 20.

Masters, G. M. (2004). Photovoltaic materials and electrical characteristics.

Matsson, J. E. (2021). *An Introduction to ANSYS Fluent 2021*: SDC Publications.

Ozakin, A. N., Yakut, K., & Khalaji, M. N. (2020). Performance analysis of photovoltaic-heat pump (PV/T) combined systems: A comparative numerical study. *Journal of Solar Energy Engineering*, 142(2).

Ömeroğlu, G. (2018a). CFD analysis and electrical efficiency improvement of a hybrid PV/T panel cooled by forced air circulation. *International Journal of Photoenergy*, 2018.

Ömeroğlu, G. (2018b). Fotovoltaik-Termal (PV/T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 161-167.

Wang, Z., Guo, P., Zhang, H., Yang, W., & Mei, S. (2017). Comprehensive review on the development of SAHP for domestic hot water. *Renewable and sustainable energy reviews*, 72, 871-881.



Türkçe Metinlerde Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Duygu Analizi Problemi Üzerindeki Performansının Kıyaslanması

Ayşe Berna Altinel^{1*}

^{1*} Marmara University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5544-0925),
berna.altinel@marmara.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011864)

ATIF/REFERENCE: Altinel, A. B. (2021). Türkçe Metinlerde Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Duygu Analizi Problemi Üzerindeki Performansının Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1056-1061.

Öz

Günümüzde gittikçe yaygınlaşan sosyal medya kullanımı ile duygular ve fikirler bu platformlar üzerinden ifade edilmektedir. Bu platformlarda paylaşılan fikirler ile büyük miktarda veri ortaya çıkmaktadır. Bu verilerin sınıflandırılmasının ve analizinin manuel olarak yapılması büyük bir iş gücü gerektirdiğinden bazı algoritmalar ile duygu analizi yapılması gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada çeşitli platformlardan alınan beş farklı veri kümesi ve her bir veri kümesi için dört farklı makine öğrenmesi algoritması (KNN, Naif Bayes, Rastgele Orman, DVM) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda DVM algoritması ile veri setlerinin genelinde daha doğru sonuçlar, Rastgele Orman ve Naif Bayes algoritmaları ile veri setleri ve eğitim yüzdelere göre değişken sonuçlar elde edilmiştir. KNN algoritması ile veri setlerinin genelinde doğruluğu en düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Duygu Analizi, Makine Öğrenmesi, Sosyal Medya Analizi, Sınıflandırma, Metin madenciliği.

Comparison of the Performance of Machine Learning Algorithms on Sentiment Analysis Problem in Turkish Texts

Abstract

Recently, with the use of social media, which is becoming more and more widespread today, emotions and ideas are expressed through these platforms. Huge amounts of data emerge with ideas shared on these platforms. Since the classification and analysis of these data requires a large labor force, the need for sentiment analysis with some algorithms has emerged. In this study, five different datasets from various platforms and four different machine learning algorithms (kNN, Naive Bayes, Random Forest, SVM) were used for each dataset. As a result of the study, more accurate results were obtained in general with the SVM algorithm, and variable results were obtained with the Random Forest and Naive Bayes algorithms according to the data sets and training percentages. With the KNN algorithm, the lowest accuracy results were obtained across the data sets.

Keywords: Sentiment Analysis, Machine Learning, Social Media Analysis, Classification, Text Mining.

* Corresponding Author: berna.altinel@marmara.edu.tr

1. Giriş

Duygu analizi (Sentiment Analysis), herhangi bir metin yazarının görüşlerini, duygularını ve tutumlarını anlamak için kullanılan bir çalışma alanıdır. Duygu analizinde, metin belirli cümlelere veya kelimelere bölünerek analiz edilir ve metnin içeriği olumlu, olumsuz veya nötr olarak sınıflandırılır. Duygu analizinde, yazarın herhangi bir ürün, olay, kişi veya fikir hakkında ifade ettiği görüşleri analiz etmek amaçlanır.

Sosyal medya araçları insanların farklı sosyal medya kanalları aracılığıyla ürünler, toplumsal ve politik olaylar, farklı fikirler, düşünceler hakkında yorum ve değerlendirme yapabilmesi, bunlara internet erişimi olan herkesin kolayca erişebilmesi, metin ve duygu analizi için işlenmemiş bir veri kaynağıdır.

Sosyal medyanın ortaya çıkarttığı bu verileri kullanarak kullanıcıların daha iyi bir sosyal medya deneyimi geçirmesi, isteklerine göre şekillenen bir sosyal medya profili oluşturulması hedeflenebilir. Bu hedefler Facebook ve Twitter gibi büyük firmalar için çok önemli bir özellik haline gelmiştir. Yine bu ham verilerden ortaya çıkacak bilgi, pazarlama sektörü için de çok önemlidir. Reklam firmaları bu bilgileri kullanarak kullanıcın isteklerine göre reklam göstermeyi hedeflemişlerdir. Buna ek olarak firmalar ürünleri için kullanıcılardan tarafından yapılan olumlu, olumsuz veya nötr yorumlar sayesinde performans analizi yapabilir ya da ürünlerinin eksik yönlerini tespit edebilirler. Bu sayede ürünlerini kullanıcıların isteklerine göre geliştirebilirler. Sonuç olarak birçok sektör sosyal medyanın çıkarttığı bu ham verinin işlenmesinin peşine düşmüştür. Günümüzde bilgi en pahalı ürüne dönüşmüştür.

Bu veriler gerçek toplum hakkında bilgi edinebilmek için üreticiler, politikacılar, sosyal bilimciler ve diğer insan ve toplumu ele alan araştırmalarda çok değerli olabilmektedir. Bu platformlarda ortaya çıkan ve gün geçtikçe artan ham veri yığınları bu amaçlar için kullanılmaya hazır değildir. Duygu analizi ile veriler amaca uygun olarak işlenebilir ve bahsedilen araştırmalar için değerli hale getirilebilir.

Duygu analizi çalışmaları yapılırken, metinlerin olumlu, olumsuz ya da nötr içeriğe sahip olup olmadığına bakılır ve analiz edilir. Analizin sonucunda; metinlerin konusu dahilinde, insanların bu konu hakkındaki düşünceleri belirlenir. Dolayısıyla hem hali hazırda üretilmiş ürünler hakkında insanların düşünceleri öğrenilebilir; hem de henüz piyasaya çıkmamış bir ürünün insanlar tarafından nasıl değerlendirilebileceği, sevilip sevilmeceği, ne tarz tepkilerle karşılaşılabileceği konusunda fikir sahibi olunabilir.

Verilerin anlamlı hale getirilebilmesi için bilinen birçok yöntem vardır. Manuel veya bir algoritma yardımı ile sınıflandırma yapılabilir. Manuel sınıflandırma yapmak yüksek iş gücü ve zaman kaybı ortaya çıkarabilmektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları, daha kısa sürede, daha az iş gücü ile doğruluğu yüksek işlenmiş veri kümeleri oluşturulabilir.

2. Literatür Taraması

Bu kısımda metin ve duygu analizi ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmektedir.

Kaynar O. vd. yapmış oldukları çalışmada duygu analizinde öznitelik düşürme yöntemlerinin oto kodlayıcı derin öğrenme

makinaları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Metin analizinde frekansı düşük olan kelimelerin cümle vektörlerinde bolca sızır verisi bulundurması makine öğrenme algoritmalarının verimini düşürdüğü için boyut küçültme uygulanmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan gözetimsiz makine öğrenmesi tabanlı boyut düşürme algoritmaları kullanılmıştır. IMDB film yorumları veri seti 1000 pozitif ve 1000 negatif yorum olacak şekilde dengeli olarak ayrılmıştır. Kullanılan kütüphane olarak her bir kelimenin kökleri NLTK kütüphanesi yardımıyla bulunmuştur. Deney sonucunda boyut düşürme teknikleri uygulanan veri setlerinden daha yüksek başarı elde edilmiştir. Boyut düşürme yöntemleri (TDA, TBA, çTBA, FA) uygulanmadan makine öğrenme algoritmaları (DVM, YSA) kullanılan sonuç ile boyut düşürme yöntemleri uygulanarak yapılan sonuç ile karşılaştırma yapılmıştır (Kaynar ve ark., 2019).

Akgül E. vd. yapmış olduğu çalışmada Twitter verileri ile duygu analizi yapılmıştır. Duygusal Twitter adındaki bu çalışmada bir anahtar kelime belirlenerek her bir tweete ait duygu analizi olumlu, olumsuz veya nötr olarak etiketlenmeye çalışılmış, bu sayede bir sözlük elde edilmesi amaçlanmıştır. Sözlük ve n-gram olmak üzere iki adet farklı yöntem kullanılmıştır. Tarafsız bakış açısı yakalayabilmek adına belirlenen iki kişi tweetleri olumlu, olumsuz veya nötr şeklinde etiketlenmiştir. Daha sonra veri setlerinden duygu analizi için gereksiz karakterler temizlenmiş, kelimelerin tekrar sayısı ile frekansları bulunup, her veri seti için farklı kelime frekansları hesaplanmıştır. N-gram modelinde ise 2, 3 ve 4 gramlar kullanılarak sistem ayrı ayrı test edilmiştir. Deney sonuçlarında en fazla başarı en çok tweet sayısına sahip VS3 veri setinden alınmıştır. 3 farklı veri seti 2 farklı etiketleme yöntemiyle karşılaştırılmıştır (Akgül ve ark., 2016).

Tuzcu S. yaptığı çalışmada Türkçe çevrimiçi kullanıcı yorumlarının yüksek doğrulukla yönlü sınıflandırılması yapılmak istenmiştir. Python programlama dili ve rapid miner üzerinde veri ön işleme, makine öğrenmesi yöntemlerinin uygulanması gerçekleştirilmiştir. Veri ön işleme işleme için NLTK kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmada MLP, NB, DVM, LR makine öğrenmesi yöntemleri aynı veri seti üzerinde sınıflandırma başarılarına göre karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda MLP pozitif ve ortalamaya sınıflandırma başarısında ön plana çıkmış, NB ise diğer yöntemlere göre negatif sınıflandırmada pozitive göre daha başarılı sonuç vermiştir (Tuzcu, 2020).

Aytekin Y. E. ve Keskin Ö. yapmış oldukları çalışmada faizsiz finans sistemi ile ilgili türkçe metinler üzerinden duygu analizi yöntemi ile potansiyel müşterilerin faizsiz finans sistemine yönelik pozitif ve negatif algıları anlaşılacak istenmiştir. Veri seti 2019 Ocak ayına ait faizsiz finans sistemi ile ilgili türkçe metinlerden oluşmaktadır. Bu metinler sosyal medya ve internet kaynaklarına aittir. Bu çalışmada teknik herhangi bir ayrıntı paylaşılmamıştır. Çalışmada analiz kısmı www.mediatoolkit.com adresinde bulunan çevrimiçi program ile yapılmıştır. Yazarların vardığı sonuç şu: “İslami temellere dayanan faizsiz finans sistemindeki rakurlar, sömürü mantığıyla ortaya çıkan konvansiyonel rakurlerinden; üretimi, paylaşımı ve ahlaki değerleri ön planda tutacak şekilde ayrışmalıdır. Bu farklılığın göstergesi olarak en azından “banka” terimi yerine “finans” teriminin kullanılması daha doğru olacaktır.” doğrudan alıntılanmıştır (Aytekin ve Keskin, 2019).

Eryılmaz vd. yapmış oldukları çalışmada reklam, alakasız içerik barındıran ve kişiye zarar veren yaramaz epostaların makine öğrenmesi yöntemleri ile tespiti amaçlanmıştır. 2 tane

Türkçe veri seti kullanılmıştır. Bunlardan biri "TurkishEmail" veri kümesi diğeri ise yazarlar tarafından hazırlanan "TrHamSpamEmailv1.0" veri setidir. İlk olarak veri setlerinde öznitelik çıkarımı ve özellik seçimi yapılmıştır. Veri setlerinde çalışılan makine öğrenme algoritmaları RF, C4.5 karar ağacı, SMO, KNN, LR, NB, MLP'dir. Veri kümeleri ön işlemde geçen işleme tabii tutulan her sözcük Türkçe doğal dil işleme kütüphanesi olan "Zemberek" yazılımından geçirilip köklerine ayrıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %98'in üzerinde bir orana kadar yaramaz e-postaların filtrelenebildiği görülmüştür (Eryılmaz ve ark., 2020).

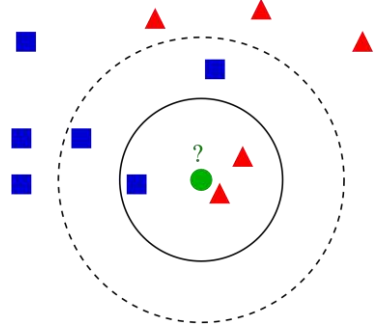
Demir vd. yapmış oldukları çalışmada büyük miktardaki Türkçe metin verilerini kısa zaman içerisinde otomatik olarak analiz etmeyi amaçlamışlardır. Yani yapısal olmayan veri kaynaklarının analizini yaparak, yapılandırılmış veri elde etmeyi amaçlamışlardır. Geliştirdikleri uygulama kelime düzeyinde çalışmaktadır. Toplam 3 farklı veri setinden yararlanmışlardır. Bunlardan ilki yaklaşık 5000, ikincisi ve üçüncüsü ise yaklaşık 25000 adet kelime içermektedir. Toplamda yaklaşık olarak 55000 adet kelimedenden faydalanmışlardır. Araştırmacılar Afinn, Bing, Nrc ve Sentitürk sözlüklerini bir araya getirip değerlendirerek duygu analizi yapmayı hedeflemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında iki farklı yöntem kullanmışlardır. Bunlardan ilki, veri setleri için sırasıyla %77,14, %72,78, %74,17 doğruluk oranına sahiptir. İkinci yöntemde ise aynı veri setleri için sırasıyla %82,85, %74,92, %77,50 doğruluk oranına sahiptir. Toplamda ilk yöntem %74,11 doğruluk oranına sahipken, ikinci yöntem %77,445 doğruluk oranına sahiptir. Yazarlar bu çalışmada bu alanda yapılmış olan çalışmalara bir yenisini daha ekleyip, bu alanın gelişmesinde katkıda bulunmak amacını da gütmüşlerdir (Demir ve ark., 2020).

3. Yöntem

Duygu analizi (veya fikir madenciliği), verilerin olumlu, olumsuz veya tarafsız olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir doğal dil işleme tekniğidir. Duyarlılık analizi, işletmelerin müşteri geri bildirimlerinde marka ve ürün duyarlılığını izlemelerine ve müşteri ihtiyaçlarını anlamalarına yardımcı olmak için genellikle metin tabanlı veriler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla duyarlılık analizi için farklı öğrenme modelleri kullanılmaktadır (Demir ve ark., 2020). Bu çalışmada kullanılan modeller bu bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

3.1 KNN (K-En Yakın Komşu)

KNN algoritması temel olarak, sınıflandırılmak istenen bir veriyi daha önceki verilerle olan komşuluk ilişkisine göre sınıflandıran bir algoritmadır. KNN ile yeni noktaya en yakın noktalar aranır. K tane, bilinmeyen noktanın en yakın komşularını temsil eder (Sutton, 2012). Analitik olarak izlenebilir olması, yerel bilgilere uyarlanabilir olması, tutarsız eğitim verilerine karşı dirençli olması KNN algoritmasının avantajlarıdır. KNN algoritmasının dezavantajlarına yüksek miktarda bellek alanlarına ihtiyaç duyması, veri seti boyutu arttıkça işlem yükünün artması örnek gösterilebilir.



Şekil 1. KNN algoritması sınıflandırma örneği ¹

Şekil 1' de örnek bir KNN sınıflandırması gösterilmiştir. Şekildeki yeşil nokta, mavi karelere veya kırmızı üçgenlere göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 1'de K=3 olduğu durumda, daire içerisindeki duruma bakılır. Kırmızı üçgenlerin sayısı mavi karelere fazla olduğundan sınıflandırma kırmızı üçgenlere göre yapılır. Ancak K=5 olduğu durumda, kesikli daire içerisindeki duruma bakılır ve kırmızı üçgenlerin sayısı mavi karelere daha az olduğundan sınıflandırma mavi karelere göre yapılır (Arroyo ve ark., 2009).

3.2 Naif Bayes

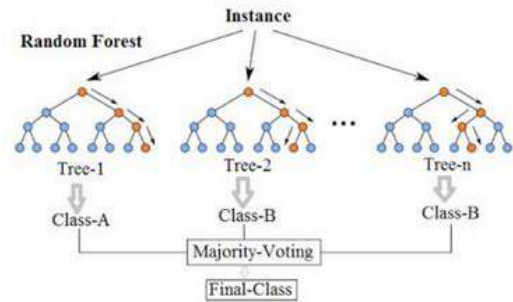
Naif Bayes yöntemi, değişkenlerinin değeri verilen her özellik çifti arasında koşullu bağımsızlık varsayımıyla uygulanmasına yönelik bir dizi denetimli öğrenme algoritmasıdır (Zhang, 2004). Naif Bayes modelinin kullanımı kolaydır ve büyük veri kümeleri için kullanışlı olup karmaşık sınıflandırma yöntemlerine kıyasla daha verimli olduğu bilinmektedir. Şekil 2'de Bayes Teoreminin sonlu olasılık denklemi gösterilmektedir.

$$P(c | x) = (P(x|c)P(c))/P(x) \quad (1)$$

Denklem (1)'de $P(c | x)$ sonlu olasılığı, $P(x|c)$ verilen sınıfın tahmin edicisinin olasılığı olan olabilirliktir. $P(x)$ tahmin edicinin önceki olasılığını ifade etmektedir (Shah ve ark., 2020).

3.3 Rassal Orman

Rassal Orman, davranış analizinde tahminleri modellemede kullanılan bir tekniktir ve karar ağaçları üzerine kuruludur. Bir dizi regresyon karar ağacının sonuçlarını birleştirerek çıktı tahminleri yapan makine öğrenmesi modelidir (Williams ve ark., 2020). Her ağaç bağımsızdır ve ormandaki tüm ağaçlar aynı dağılıma sahip olup, girdi verilerinden örneklenen rastgele vektöre bağlıdır (Breiman, 2001). Rassal Orman algoritması her ağacın rastgele vektör değerlerine bağlı olduğu bir ağaç tahmincisi görevi görür. Büyük verileri sınıflandırmak için en iyi algoritmalarından bir tanesidir.



Şekil 2. Rassal Orman modeli için örnek bir karar şeması ²

Şekil 2'de üç adet karar ağacı gösterilmiştir. Bir karar ağacında, en üstte bir girdi girilmekte ve ağaçta aşağıya inildikçe veriler daha küçük kümeler halinde toplanmaktadır. Tek bir karar ağacına güvenmek yerine her ağaçtan tahmin alınmakta ve

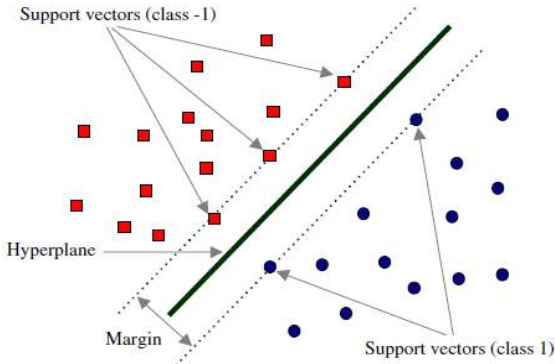
¹ <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/03/introduction-k-neighbours-algorithm-clustering/>

² https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest

tahminlerin çoğunluk oylarına göre sonuç çıktısı tahmin edilmektedir.

3.4 DVM (Destek Vektör Makinesi)

DVM sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılan bir makine öğrenmesi modelidir. Öncelikli olarak sınıflandırma problemleri için kullanılmaktadır. DVM, yeni veri noktasını kolayca tespit edebilmek için n-boyutlu uzayı sınıflara ayırabilen en iyi çizgi veya karar sınırını oluşturmaktadır. Bu en iyi karar sınırına hiperdüzlem denmektedir. DVM, hiper düzlemi oluşturmaya yardımcı olan vektörleri seçmekte ve “Destek Vektör Makinesi” olarak adlandırılmaktadır (Platt, 1999).



Şekil 3. Destek vektör makinesinin küme ayrışmasını temsil etmekte ¹

Şekil 3'te bir karar sınırı veya hiperdüzlem kullanılarak sınıflandırılan iki farklı kategorinin bulunduğu görülmektedir.

Yüksek boyutlu uzaylarda etkili kümeleme yapması ve belleği daha etkin kullanması DVM'in avantajları arasındadır. Boyutların sayısının örnek sayısından fazla olduğu durumlarda DVM daha etkili olmaktadır. Ancak büyük veri kümeleri için uygun değildir. Veri kümesine oranla gürültü (signal-to-noise ratio) oranı arttıkça DVM sınıflandırma performansı düşmektedir (Lin ve Chang, 2001).

4. Deney Ortamı ve Deney Sonuçları

4.1 Deney Ortamı

Bu çalışmada beş farklı veri set üzerinde, dört farklı makine öğrenmesi modeli ile duygu analizi yapılmıştır. İlk veri kümesi turizm başlığı altında atılan toplam 4202 tweet'ten oluşmaktadır. Bu veriler olumlu ve olumsuz olmak üzere 2 sınıfa ayrılmıştır. İkinci veri kümesi satın alınan ürünler hakkında yapılan yorumlardan oluşmakta ve olumlu, olumsuz ve tarafsız olarak sınıflara ayrılmıştır. Toplam 8492 adet mağaza yorumuna ait duygu ifadelerini içermektedir. Üçüncü veri kümesi satın alınan ürünler hakkında yapılan yorumlardan oluşmakta ve olumlu, olumsuz ve tarafsız olarak sınıflara ayrılmıştır. Toplam 11430 adet ürün yorumlarının duygu ifadesi içermektedir. Dördüncü veri kümesi çeşitli blog yazarlarının neşeli, sinirli, üzgün, karışık olmak üzere 4 farklı sınıfta incelendiği toplamda 157 blog yazısı içermektedir. Beşinci veri kümesi kullanıcıların izledikleri film hakkında yapılan yorumlardan oluşmakta ve pozitif, negatif ve tarafsız olarak sınıflara ayrılmıştır. Her sınıfta 35'er adet olmak üzere toplamda 105 adet film yorumu bulunmaktadır.

¹ https://www.researchgate.net/figure/Classification-of-data-by-support-vector-machine-SVM_fig8_304611323.

Bu çalışmada Veri depolama işlemleri için mongodb kullanılmıştır. Veri işleme işlemleri ise Spyder programı üzerinden python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yardımcı kütüphaneler: pymongo, sklearn, zemberek'den oluşmaktadır. Mongodb üzerinden veri alışverişi için pymongo, veriler üzerinde kullanılan algoritmalar için sklearn ve verilerin Türkçe doğal dil işlemleri için Zemberek kullanılmıştır.

4.2 Deney Sonuçları

Turizm veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score) Tablo 1'de gösterilmektedir. Deney sonuçlarına göre DVM algoritması tüm deneylerde diğer algoritmalara kıyasla en yüksek sonuçları vermiştir. Örneğin DVM algoritmasının %30 eğitim-%70 test seti, %40 eğitim-%60 test seti, %50 eğitim-%50 test seti ve %70 eğitim-%30 test seti üzerindeki F1 puan yüzdeleri (F1-score) sırasıyla %86.93, %87.55, %88.14 ve %89.09'dır.

Tablo 1. Turizm veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score)

Algoritma	%30 eğitim-%70 test	%40 eğitim-%60 test	%50 eğitim-%50 test	%70 eğitim-%30 test
Rassal Orman (RandomForest)	83.88	84.02	84.11	84.52
Naif Bayes (Naive Bayes)	79.64	80.12	80.22	81.17
K-En Yakın komşuluk(KNN)	68.82	70.46	71.14	71.34
DVM(SVM)	84.59	84.73	84.90	85.42

Mağaza veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score) Tablo 2'de gösterilmektedir. Deney sonuçlarına göre DVM algoritması tüm deneylerde Rassal Orman, Naif Bayes ve K-En Yakın komşuluk algoritmalarına kıyasla en yüksek sonuçları vermiştir.

Tablo 2. Mağaza veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score)

Algoritma	%30 eğitim-%70 test	%40 eğitim-%60 test	%50 eğitim-%50 test	%70 eğitim-%30 test
Rassal Orman (RandomForest)	67.81	68.21	69.17	69.84
Naif Bayes (Naive Bayes)	74.62	75.54	76.52	77.30
K-En Yakın komşuluk(KNN)	58.01	59.90	60.53	61.37
DVM(SVM)	86.93	87.55	88.14	89.09

Ürün veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score) Tablo 3'te gösterilmektedir. Deney sonuçlarına göre en yüksek F1 puan yüzdelerini veren algoritmalar sırasıyla DVM algoritması, Rassal Orman, Naif Bayes ve K-En Yakın komşuluk algoritmaları şeklindedir.

Tablo 3. Ürün veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score)

Algoritma	%30 eğitim- %70 test	%40 eğitim- %60 test	%50 eğitim- %50 test	%70 eğitim- %30 test
Rassal Orman (RandomForest)	75.90	78.35	79.03	81.52
Naif Bayes (Naive Bayes)	72.47	74.98	76.37	78.71
K-En Yakın komşuluk(KNN)	57.81	58.05	58.42	58.61
DVM(SVM)	87.02	87.84	88.51	88.61

Tablo 4 ise Blog veri kümesi üzerindeki algoritmaların F1 puan yüzdelerini (F1-score) göstermektedir. Deney sonuçlarına göre örneğin %30 eğitim-%70 test setinde DVM algoritması, Rassal Orman, Naif Bayes ve K-En Yakın komşuluk algoritmalarının aldıkları F1 puan yüzdeleri (F1-score) sırasıyla %67.13, %69.15, %54.72 ve %74.40'dır.

Tablo 4. Blog veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score)

Algoritma	%30 eğitim- %70 test	%40 eğitim- %60 test	%50 eğitim- %50 test	%70 eğitim- %30 test
Rassal Orman (RandomForest)	67.13	68.32	69.20	70.35
Naif Bayes (Naive Bayes)	69.15	70.69	71.47	72.23
K-En Yakın komşuluk(KNN)	54.72	57.79	58.17	58.43
DVM(SVM)	74.40	75.14	76.50	77.41

Film veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score) Tablo 5'te gösterilmektedir. Deney sonuçlarına göre DVM algoritması tüm deneylerde Rassal Orman, Naif Bayes ve K-En Yakın komşuluk algoritmalarına kıyasla en yüksek sonuçları vermiştir.

Tablo 5. Film veri kümesi üzerinde algoritmaların F1 puan yüzdeleri (F1-score)

Algoritma	%30 eğitim- %70 test	%40 eğitim- %60 test	%50 eğitim- %50 test	%70 eğitim- %30 test
Rassal Orman (RandomForest)	67.21	67.63	68.13	68.52
Naif Bayes (Naive Bayes)	64.65	65.14	66.46	67.71
K-En Yakın komşuluk(KNN)	59.03	59.86	61.27	61.87
DVM(SVM)	77.56	78.61	79.03	80.18

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, 5 farklı veri seti üzerinde 4 farklı makine öğrenmesi algoritması ile bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı dört farklı algoritma arasındaki davranışsal farklılıkları

tespit etmek ve gözlemlemektir. Kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının varsayılan parametrelerinin üzerinde değişiklik yapılmamıştır. Yapılan çalışmadaki algoritmaların verdikleri F1 puanlarına (F1 score) yüzdelerine bakıldığında en optimal algoritmanın DVM algoritması olduğu görülmüştür. Genel olarak verinin az olduğu veri setlerinde dört algoritmanın da verdiği doğruluk oranı düşüş gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki veri setleri üzerindeki eğitim- test oranının en optimal hali ise %70 eğitim-%30 test olarak bulunmuştur. En kötü durum olarak ise %30 eğitim- %70 test olarak gözlemlenmiştir. Tüm veri kümelerinde DVM algoritması diğer algoritmalara göre daha yüksek, KNN algoritması ise daha düşük doğrulukta sınıflandırma başarısına sahip olmuştur. Rassal Orman ve Naif Bayes algoritmaları ise DVM'ye yakın sonuçlar vermişlerdir. Ek olarak gözetimli öğrenme modelleri olan DVM, Rassal Orman ve Naif Bayes algoritmaları, gözetimsiz öğrenme modeli olan KNN'e göre daha başarılı olmuştur.

6. Teşekkür

Bu çalışma kısmen 118E315 numaralı ve 120E187 numaralı araştırma projeleri aracılığıyla Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir. Bu belgedeki görüşler yazarlara aittir ve TÜBİTAK'ın resmi pozisyonunu veya politikalarını temsil etmeyebilir.

Kaynakça

- Akgül, E. S., Ertano, C., Diri, B. (2016). Twitter verileri ile duygu analizi," Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 22(2).
- Arroyo, J, and Carlos, M. (2009). Forecasting histogram time series with k-nearest neighbours methods." International Journal of Forecasting 25(1), 192-207.
- Aytekin, Y. E., Keskin, Ö. (2019). Türkiye'de Faizsiz Finans Sisteminin Duygu Analizi Bağlamında Değerlendirilmesi," Uluslararası İslam Ekonomisi ve Finansı Araştırmaları Dergisi, 5(3), 87-112.
- Breiman, (2001). Random Forests, Machine Learning, 1,5-32.
- Demir, Ö., Chawai, A. I. B., & Doğan, B. Türkçe Metinlerde Sözlük Tabanlı Yaklaşımla Duygu Analizi Ve Görselleştirme (2020). International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering, 1(2), 58-66.
- Eryılmaz, E. E., Şahin, D. Ö., Kılıç, E. (2020). Türkçe İstenmeyen E-postaların Farklı Öznitelik Seçim Yöntemleri Kullanılarak Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Tespit Edilmesi," Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 13(2), 57-77.
- Kaynar, O., Aydın, Z., Görmez, Y. (2019). Sentiment analizinde öznitelik düşürme yöntemlerinin oto kodlayıcı derin öğrenme makinaları ile karşılaştırılması, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10(3), 319-326.
- Lin, C. J., Chang, C. C. (2001). LIBSVM: a library for support vector machines.
- Platt, J. (1999). Probabilistic outputs for support vector machines and comparisons to regularized likelihood methods, Advances in large margin classifiers, 10(3), 61-74.
- Shah, K., Patel, H., Sanghvi, D., Shah, M. (2020). A comparative analysis of logistic regression, random forest and KNN

- models for the text classification, *Augmented Human Research*, 5(1), 1-16.
- Tuzcu, S. (2020). "Çevrimiçi Kullanıcı Yorumlarının Duygu Analizi ile Sınıflandırılması," *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, 1(2), 1-5.
- Williams, B. Halloin, C. Löbel, W., Finklea, F., Lipke, E., Zweigerdt, R., Cremaschi, S. (2020). "Data-Driven Model Development for Cardiomyocyte Production Experimental Failure Prediction", 48, 1639-1644.
- Zhang, H. (2004). "The Optimality of Naive Bayes," *Conference: Proceedings of the Seventeenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*.



Çoklu Bölmeli Kare Tankta Su Çalkalanmasının Sayısal Araştırması

Ferhat Koca^{1*}, Mustafa Zabun²

^{1*} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8849-5295), ferhatkoca@cumhuriyet.edu.tr

² Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0420-4134), mzabun@outlook.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012629)

ATIF/REFERENCE: Koca, F., & Zabun, M. (2021). Çoklu Bölmeli Kare Tankta Su Çalkalanmasının Sayısal Araştırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1062-1070.

Öz

Çalkalanma, kısmen doldurulmuş tankların içindeki sıvıların hareketini tanımlar ve tank yapısı üzerinde dinamik yükler oluşturur. Tankın yapısal mukavemetinin değerlendirilmesinde çalkalanma sonucu ortaya çıkan darbe basınçlarının önemi yüksektir. Bu basınçların tespitinin zorluğu tasarımcılar açısından sorun teşkil etmektedir. Bu çalışmada, kare bir tankta yatay hareketlerin çalkantı etkisi hesaplanmalı akışkanlar dinamiği (HAD) uygulaması olan ANSYS-FLUENT analiz programı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. %50 su dolu kare bir tankın, yan duvarlarına farklı açılarda perdeler (10°, 20° ve 30°) ve zeminine farklı sayılarda perdeler (tek ve çift) yerleştirilmiştir. 0-2 sn. süre arasında tank pozitif, 2-4 sn. süre arasında negatif ve 4-6 sn. süre arasında tekrar pozitif x ekseninde 4.5 m/s²lik hız ile hareket ettirilmiştir. Akışkan ara yüzünü yakalamak için VOF metodu kullanılmıştır. Her tank konfigürasyonuna bağlı olarak belirlenen noktalardan dinamik basınç ölçümleri yapılmış ve her tank konfigürasyonu için akışkan ara yüz hareketleri karşılaştırılmıştır. Edinilen veriler yorumlanarak sonuç olarak yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çalkalanma, çalkantı, HAD, tank, VOF method.

Numerical Investigation of Water Sloshing in Square Tank with Multiple Baffles

Abstract

Sloshing describes the movement of liquids inside partially filled tanks and creates dynamic loads on the tank structure. In the evaluation of the structural strength of the tank, the impact pressures resulting from agitation are of great importance. The fact that the determination of these pressures is not easy poses a problem for the designers. In this study, the sloshing effect of horizontal movements in a square tank was numerically investigated using the ANSYS-FLUENT analysis program, which is a Computational Fluid Dynamics application. A square tank filled with 50% water has baffles at different angles (10°, 20° and 30°) on the side walls and different numbers of baffles (single and double) on the floor. The tank was moved with a velocity of 4.5 m/s² in the negative x-axis between 0-2 seconds and in the positive x-axis between 4-6 seconds. The VOF method was used to capture the fluid interface. Dynamic pressure measurements were made from the points determined depending on each tank configuration and fluid interface movements were compared for each tank configuration. The given data has been interpreted and written as a result.

Keywords: Sloshing, swash, CFD, tank, VOF method.

* Sorumlu Yazar: ferhatkoca@cumhuriyet.edu.tr

1. Giriş

Çalkantı, bir kaptaki sıvının serbest yüzeyinin herhangi bir hareketi olarak tanımlanabilir. Çalkantı tasarım ve ürün geliştirmelerde her zaman büyük bir problem olmuştur. Akışkanın eylemsizlikten dolayı verdiği kaotik tepkiler, çalkantının bilinmezliğinin başlıca nedenidir. Kısmen veya yarı dolu sıvı yüklü tankların maruz kalacağı herhangi bir dış kuvvet, eylemsizlik prensibine bağlı olarak çalkantı hareketine sebep olabilir ve bu da tank yapısında büyük deformasyonlara neden olabilir. Çalkantı, başta deniz taşımacılığı olmak üzere havacılık, uzyay ve otomotiv alanlarında sıkça karşılaşılan bir olgudur.

Çalkantı oluşumu temelde tankın yapısına: dikdörtgen, konik, küresel, kare ve silindirik vb. tank içerisinde bulunan sıvının cinsine; petrol ve petrol ürünleri, su, melas gibi birçok etkene bağlıdır. Çalkantının birçok nedenden dolayı oluşması çalkantı analizlerinin karmaşık, tahmin edilmesi zor olduğunun ispatıdır. Hu vd. (2017) tarafından belirtildiği gibi deniz taşımacılığında, LNG (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz) tanklarının geminin seyir halinde farklı dalga tiplerinde incelemiş ve tank içerisindeki çalkantı etkilerinin üzerinde durmuş ve çalkantı olgusunun önemli etkilerini belirtmiştir. Klatte vd. (2020) membran tankları deneysel olarak incelemiş ve çalkantı etkisinin tank içerisindeki akışkan seviyesine ve toplam kıvrım alanına bağlı olduğunu ispatlamıştır. Rudman ve Cleary (2009), LNG tanklarının farklı doluluk seviyelerinde tank duvarının farklı noktalarına yerleştirdiği basınç sensörleri ile tank duvarına gelen basınç değerlerini ölçmüştür. Ölçümler sonucunda tank yüzeyine gelen basıncın tank seviyesine bağlı olarak değiştiğini ispatlamıştır. Ayrıca, çalkantı etkisinin sadece tankı deforme etmediğini geminin seyir halindeyken geminin dengesini etkilediğini öne sürmüştür.

Thiagarajan vd. (2011), çalkalanma uyarımına maruz kalan 2B dikdörtgen bir tankta sıvı çalkalanmasını simüle etmişlerdir. Akışkanın alanını modellemek için sonlu bir hacim yaklaşımı kullanarak, hava-su ara yüzünü izlemek için VOF tekniğini uygulamışlardır. Doldurma seviyelerini ve uyarı süreleri gibi çeşitli parametrelerin sıvı çalkantı dinamikleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve sayısal sonuçları literatürdeki mevcut teorik tahminlerle karşılaştırmışlardır. Wang vd. (2013) yanal uyarıya uğrayan sert silindirik bir tankta sıvı çalkantısını bastırmak veya hafifletmek için çoklu dairesel sert bölmeler uygulamanın fizibilitesini araştırmıştır. Yazarlar son olarak araştırmalarında, hidrodinamik basınç dağılımı, yüzey dalasının yüksekliği ve hidrodinamik momentum ve bir tankın harmonik ve sismik uyarılar altındaki kuvveti gibi çeşitli parametreleri tartışmışlardır.

Tank tasarımcıların hedeflerinden biri de çalkalanmayı kontrol etmektir. Çalkalanmanın kontrolü için yaygın kullanılan yöntemlerden birisi tank içerisine perdeler eklenerek çalkalanma etkisini azaltmaktır. Hem dikdörtgen hem de silindirik tankların sıvı çalkalanmasını bastırmak için gözenekli ve gözeneksiz perdelerin kullanılabilirliği literatürde birçok araştırmacı tarafından kapsamlı bir şekilde araştırılırken, perdelerin analiz sırasında sabitlenmesi gerekir. Tank içerisine yerleştirilen perdelerin kullanımı ticari anlamda tankın maliyetini arttırmakta, ayrıca tankın ağırlığı da artmaktadır. Dolayısıyla tankın içerisine yerleştirilecek perdelerin konumları, adetleri, yerleştirme yüksekliği ve açıları son derece önem kazanmaktadır. Sanapa vd. (2018) kısmen doldurulmuş dikdörtgen bir tankta sıvı

çalkantısının dinamiklerini sayısal simülasyonlar yaparak incelemiştir. Tank, harmonik tipte dikey ve yatay ivmeye ve sismik hareketlere maruz bırakılmıştır. Araştırmacıların çalışması, serbest yüzey hareketlerini ve ayrıca çalkantı kaynaklı kuvvetleri kontrol etmek için perde kullanmanın önemini göstermiştir.

Bu çalışma, Şahin ve Bayraktar'ın (2015) kare bir tank için 2 farklı açılarda perde kullandıkları araştırmalarından esinlenmiştir. Bu konfigürasyona ek olarak mevcut makalede yeni geometri tanımlanmış ve ANSYS-FLUENT R19 programı aracılığı ile analizleri yapılmıştır. Kısmen dolu tankların sağ ve sol yan duvarlarına sabitlenen 10, 20 ve 30 derece y ekseninde açılar verilerek, zeminlerine 2 adet perde eklenmiştir. Tanklar farklı zaman aralıklarında farklı yönlerde uyarımlar yapılarak incelenmiştir. İlk önce 0-2 sn. arasında +x yönünde 4.5 m/s² ivmeyle, 2-4 sn. arasında -x yönünde 4.5 m/s² ve son olarak 4-6 sn. arasında +x yönünde 4.5 m/s² olmak üzere toplamda 6 sn. olacak şekilde yanal uyarımlar verilerek Ansys-FLUENT programında VOF model kullanılarak analiz edilip sonuçlar karşılaştırılmıştır.

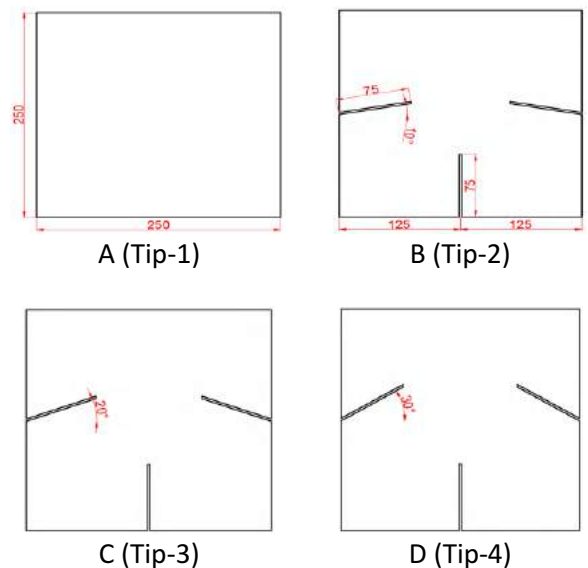
2. Materyal ve Metot

2.1. Model Tanımı

Kısmen dolu tankta içindeki sıvının hareketinden dolayı çalkalanmanın meydana geldiği bir gerçektir. Pasif bir kontrol yöntemi olarak, perdeler çalkalanmanın ciddi etkilerini azaltmak için kullanılabilir. Aşağıdaki örnek olay incelemeleri, bölmelerle ve bölmeler olmadan kısmen doldurulmuş sert tanklarda çalkalanmayı simüle eder ve her konfigürasyon için rapor eder.

2.1.1. Tank Konfigürasyonu

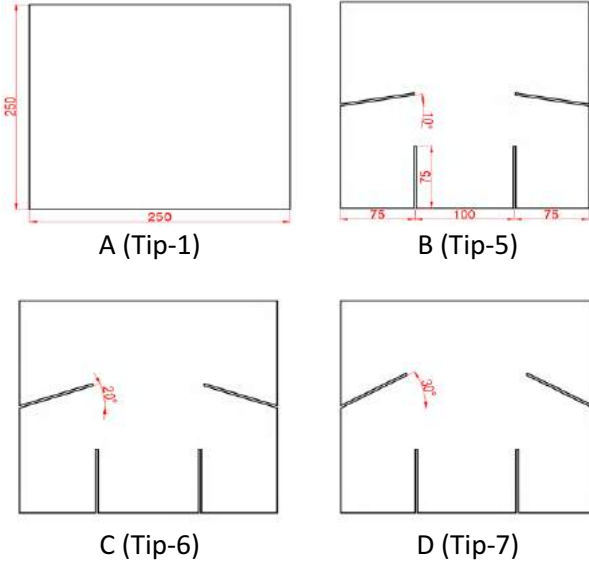
250 mm x 250 mm ölçülerinde dikdörtgen tank çalkalanma performansı değerlendirmek için Şahin ve Bayraktar'ın yazısından esinlenilerek (2015), zeminde 1 ve 2 perdelerden oluşan ve her perde için yan duvarlardaki yatay perdeler 10, 20 ve 30 derece açı verilerek konfigüre edilmiştir. Her tank konfigürasyonunda su seviyesi %50 olarak hesaba katılmıştır. Tankların ve bölmelerin boyutları Şekil 1 'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Zeminde Tek Perdeli Tank Boyutları (mm)

Şekil 1A'da gösterildiği gibi birinci tankta herhangi bir bölme yoktur, Şekil 1B'de gösterilen tankın yan duvarlarından 10° açı ile kaldırılmış perdeler bulunmaktadır. Şekil 1C'de perdeler 20° ve Şekil 1D'de 30° kaldırılarak konfigüre edilmiştir.

Şekil 2'de ise Şekil 1'de verilen açılı perdeler ek olarak zeminde yan duvarlara paralel 2 perde kullanılarak konfigüre edilmiştir.



Şekil 2. Zeminde Çift Perdeli Tank Boyutları (mm)

Tüm tank türleri aşağıdaki varsayımlara göre incelenmiştir:

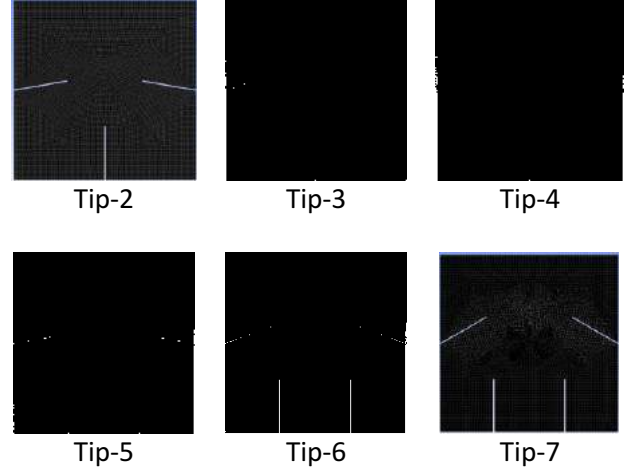
- Tanklar 0-2 sn aralığında 4,5 m/s2 hızla +x yönünde hareket etmektedir,
- Tanklar 2-4 sn aralığında 4,5 m/s2 hızla ile -x yönünde hareket etmektedir,
- Tanklar 4-6 sn aralığında 4,5 m/s2 hızla ile + x yönünde hareket etmektedir.

2.1.2. Mesh Yapısı

Mesh yapısının kalitesini gösteren mesh elemanlarının sayısı, en boy oranları ve çarpıklığı Tablo.1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Tank Yapılarının Mesh Kaliteleri

	Eleman Sayısı	Maksimum en-boy oranı	Maksimum çarpıklık
Tip 1	62484	16,119	0,57481
Tip 2	62256	29,543	0,64205
Tip 3	77025	18,823	0,51338
Tip 4	62635	25,301	0,61537
Tip 5	62155	16,885	0,54599
Tip 6	97058	2,575	0,58863
Tip 7	97687	22,492	0,58046



Şekil 3: Tankları Mesh Görünümü

2.2. Matematik Model

Çalkantıyı simüle etmek için kullanılan denklemler süreklilik (Denklem 1), Navier-Stokes (Denklem 2) ve VOF denklemleridir. Bunlar genel olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\Delta \vec{V} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} + \left[-\frac{1}{\rho} (\nabla p - \mu (\nabla \nabla) \vec{V}) \right] + \vec{F}_B \quad (2)$$

Momentum denklemi, tüm fazların hacim fraksiyonlarına bağlıdır ve Denklem 3'te verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} (\nabla p - \mu (\nabla \nabla) \vec{V}) + F_B + F_V \quad (3)$$

Burada, \vec{V} tanka göre akışkan hızıdır, p basınçtır; ρ sıvı yoğunluğu ve μ viskozitedir. F_B ve F_V durumu cisim kuvveti ve tankın hareketinin neden olduğu sanal cisim kuvvetidir. Nema (2014) yayınladığı makalede ayrıntılı olarak belirttiği gibi çeşitli teknikler vardır.

- Hareketli ızgara veya Lagrangian yaklaşımı (yakalama),
- Sabit ızgara veya Euler yaklaşımı (izleme),
- Lagrangian ve Eulerian'ın birleşik yöntemi

Bu çalışmada Euler yaklaşımının bir parçası VOF kullanılmıştır. VOF modeli, tüm akışkan fazları (burada hava ve su) arasında herhangi bir etkileşim olmadığını varsayar. Her bir kontrol hacmi için, hücredeki fazın hacim fraksiyonu tanımlanacak ve tüm fazların hacim fraksiyonu, birliğe toplanacaktır. α_b , hücredeki her iki sıvının hacim fraksiyonunu temsil ediyorsa, aşağıdaki üç koşul mümkündür:

- $\alpha_b = 0$, [Hücrenin boş olduğunu gösterir (b tipi sıvı yoktur)]
- $\alpha_b = 1$, [Hücrenin dolu olduğunu gösterir (sadece b tipi sıvı mevcuttur)]

- $0 < \alpha_{bz} < 1$ [Hücrenin, hem sıvı hem de bir veya daha fazla başka sıvı türü arasındaki ara yüzü içerdiğini gösterir.]

Her iki faz için hacim fraksiyonu (VOF) Denklem 4 'te verilmiştir.

$$\frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_b \rho_b) \right] + \vec{\nabla} (\alpha_b \rho_b \vec{V}_b) = s_{\alpha_b} \sum (\dot{m}_{ab} \dot{m}_{ba}) \quad (4)$$

Burada \dot{m}_{ab} , \dot{m}_{ba} ve s_{α_b} a'dan b fazına kütle aktarımı, b'den bir faza kütle aktarımı ve kavitasyon modelinin kullanımına izin veren kaynak terimidir. n faz için:

$$\sum_{b=1}^n \alpha_b = 1 \quad (5)$$

Aşağıdaki denklem, a ve b için 2 fazlı akışta fiziksel parametreleri hesaplamak için kullanılır:

$$\begin{aligned} \rho &= \alpha \rho_b + (1 - \alpha) \rho_a \\ \mu &= \alpha \mu_b + (1 - \alpha) \mu_a \end{aligned} \quad (6)$$

Burada α , su için 1 ve hava için 0 olarak tanımlanır.

Türbülans modeli olarak, k, türbülans kinetik enerji (Denklem 7) ve ε , yayılma hızı (Denklem 8) çözümünü gerektiren standart k- ε seçilir.

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{(ku_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + p_k - \varepsilon \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial (\varepsilon u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} P_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (8)$$

P_k , kinetik enerjinin üretimidir. Denklemde görülen her katsayı değeri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Katsayı Değerleri

$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	C_μ	σ_k	σ_ε
1.44	1.92	0.09	1.0	1.3

Tank yanlarında, alt ve üst duvarlarında kayma olmadığı varsayılmıştır. İlgili denklemler, tüm durumlar için 0.01 saniyelik zaman adımı için çözülmüştür. Javanshir ve arkadaşlarının (2012) çalışması başlangıçta referans olarak takip edilmiş, model teori (White, 2011) ile doğrulanmış ve daha sonra sıvının çalkalanmasını azaltmak için paralel ve tank alt yüzeyine açılı olan bölmeler kullanılmıştır.

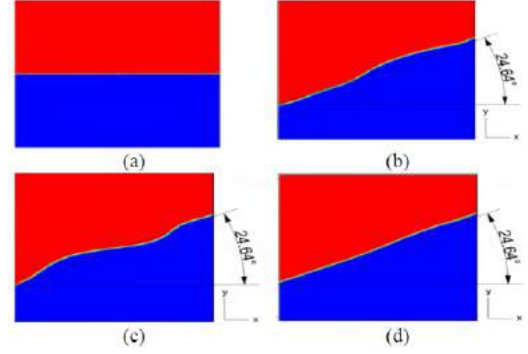
2.2.1. Doğrusal Hızlanma

Başlangıçta tank hareketsiz tutulur ve 4,5 m/s² sabit ivmeyle pozitif (+) x yönünde hareket etmeye başlar. Sıvı, denge durumundan sapar ve ardından hareket eder ve tankın duvarı ile çarpışır. Bundan sonra su belirli bir açıyla stabil durumdadır.

Teoriye dayanarak, sıvının serbest yüzeyi basınç gradyanına dik olmalıdır ve bu nedenle Denklem 9 [10] 'da verilen aşağı doğru bir açıyla (θ) eğilir:

$$\theta = \text{Arc tan} \left(\frac{a_x}{a_y + \vec{g}} \right) \quad (9)$$

Burada \vec{g} , a_x ve a_y sırasıyla yerçekimi ivmesi (y yönünde), x-yönünde ivme ve son olarak y yönünde ivmedir. Teorik olarak θ , 24,64° olarak bulunur. Bu değer, mevcut CFD çalışmasıyla ve Şahin ve Bayraktar'ın [7] çalışması ile doğrulanmış ve Şekil 4'te gösterilmiştir:

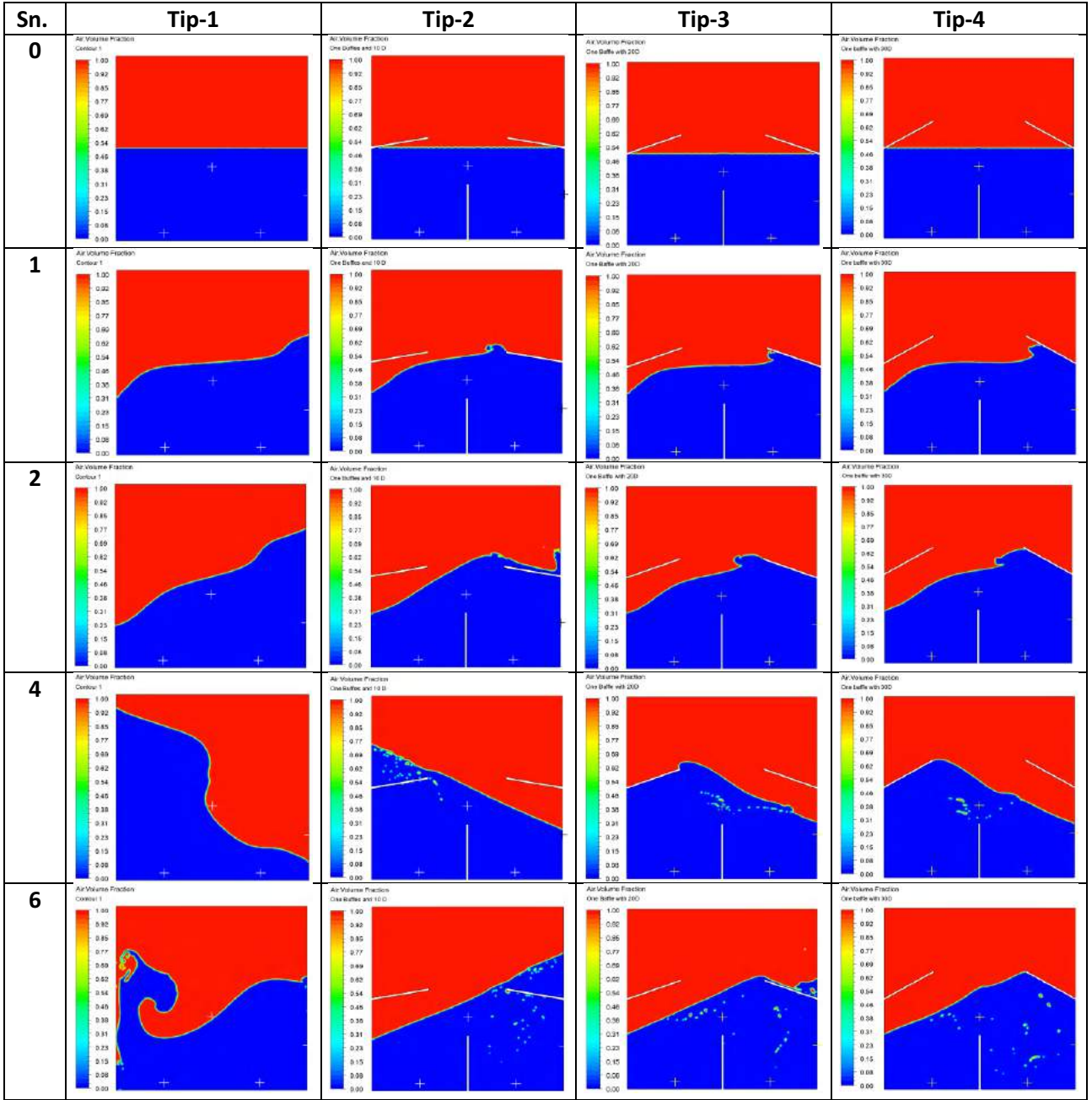


Şekil 4. a) $t = 0$, b) $t = 2$ saniye, c) $t = 5,5$ saniye, d) $t = 10$ saniye boyunca (+) x yönünde 4,5 m / s² doğrusal hızlanma altında perdesiz dikdörtgen bir tankta çalkalanma

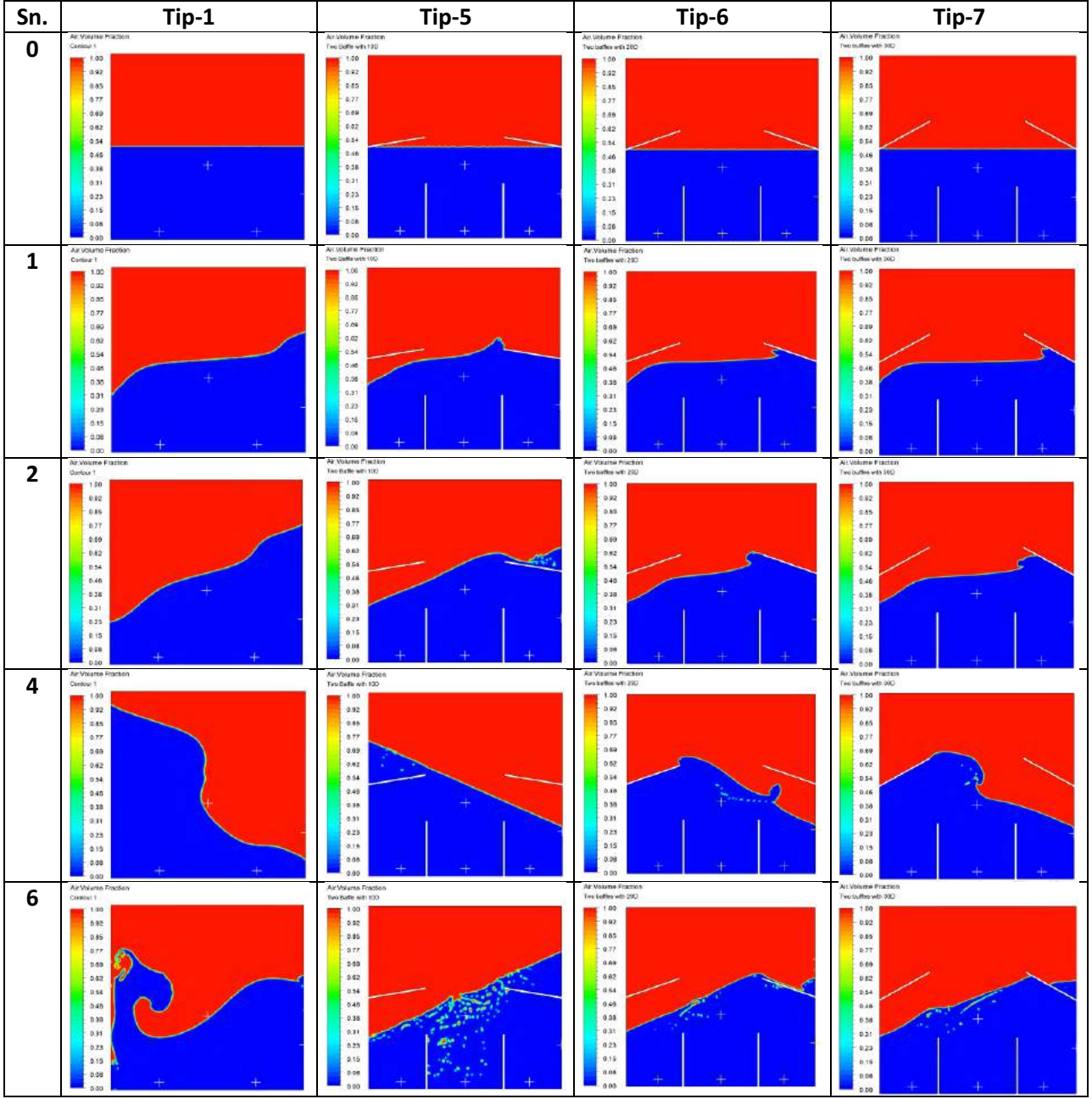
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 5'te Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 için 6 saniye boyunca oluşan çalkantının hacimsel etkisi verilmiştir. Tanklarda ki T=1 saniyeden T=6 saniyeye kadar çeşitli zamanlardan uyarım altındaki serbest yüzeyin konumu gösterilmektedir. Tip-1 incelendiğinde; başlangıçta akış +x yönüne doğru 4.5 m/s² uyarıldığı için su o yöne hareket etmeye başlar, sağ duvara çarpar ve ardından yükselir. 2. saniyeden sonra uyarımın yönü değişir ve kazanılan enerji ile birlikte yön değiştirerek tankın sol duvarına çarpar, ardından tekrardan uyarımın yönü değişir. Kazandığı enerjiden hem de uyarımdan kaynaklanan eylemsizlikten dolayı devrilip ters dalgalar oluşur. Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 için serbest yüzey konumu incelendiğinde akışın +x yönüne doğru uyarıldığında zeminde bulunan perdeden dolayı Tip-1'e kıyasla daha az bir su kütlesinin tank sağ duvarına etki ettiği görülmektedir. T=6 saniye sonunda ters dalgaların oluşumu neredeyse engellenmiştir. Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 kendi aralarından kıyaslandığında T=1 anında yan duvarlara konumlanan açılı perdelerin hareketlenen su kütlesini belirli bir hacimde sabit tutmaya zorladığı görülmektedir. 30° açılı Tip-4; Tip-2 ve Tip-3 ile karşılaştırıldığında, su kütlesinin hareketini sönümlendiği açıktır.

Şekil 6'da Tip-1, Tip-5, Tip-6 ve Tip-7 için 6 saniye boyunca oluşan çalkantının hacimsel etkisi verilmiştir. Şekil incelendiğinde hareketlenen su kütlesinin zemine yerleştirilen çift perde ile çalkantısının bir kısmının sönümlendiği ve yükselmesinin engellendiği görülmektedir. Tip-5 için +x ve -x uyarımları neticesinde oluşturulan çalkantı ile zamanla sıvı içerisinde hava kabarcıkları oluşmaktadır. Bu durum tank duvarlarına etki eden sıvı darbelerinin tepe basınçlarını etkileyerek basınç değişimlerine neden olur (Kim, 2007).

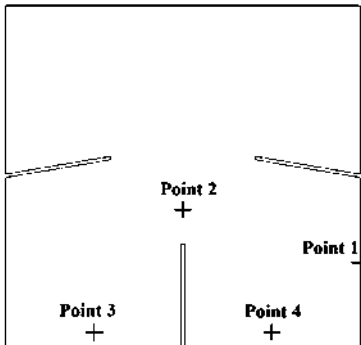


Şekil 5. 10°, 20° ve 30° zeminde tek perdeli tank yapılarının çalkalanma etkileri



Şekil 6. 10°, 20° ve 30° zeminde çift perdeli tank yapılarının çalkalanma ekileri

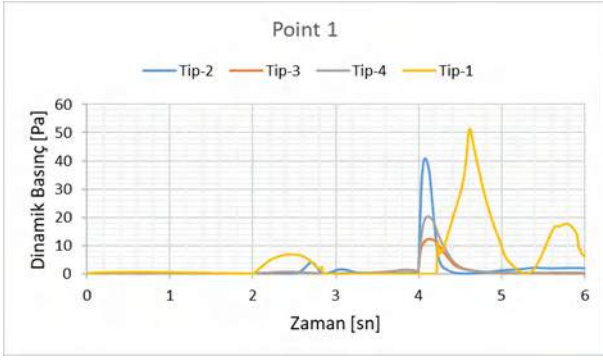
Çalkantı etkilerini görebilmek için Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 tank yapılarının Şekil 7’de gösterilen 4 noktadan dinamik basınç değerleri elde edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 7. Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4 için basınç ölçüm noktaları

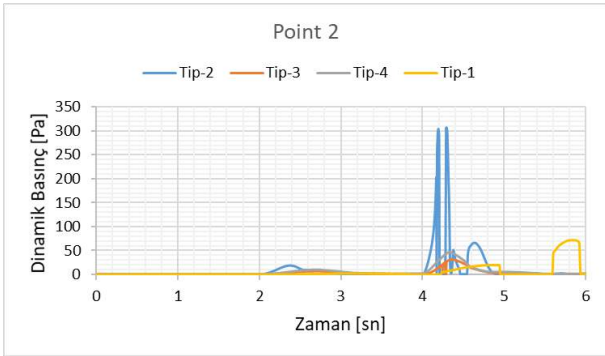
Karşılaştırma noktaları tank yan yüzeyi (Point 1), sıvı serbest yüzeyi (Point 2) ve perdeler arası taban yüzeyi (Point 3 ve Point 4) olarak belirlenmiştir. Bu noktalar perde bölmelerin etkisini görebilmek için belirlenen noktalardır.

Şekil 8’ de birinci nokta (Point 1) için 6 saniye boyunca elde edilen dinamik basınç değerleri verilmiştir. Buna göre perdesiz Tip-1 tank yapısının en yüksek basınç değerine 4-5 saniye arasında sahip olduğu görülmektedir. En düşük basınç değeri 20 derece açılı Tip-3’de oluşmuştur. Tip-4’ün Tip-3’den daha düşük bir basınç değeri olması beklenirken, aksine daha yüksek bir basınç değeri ölçülmüştür. Bunun nedeni ise 30 derece açılı perde üzerinde çalkantı sonucu kalan su kütlelerinin varlığıdır.



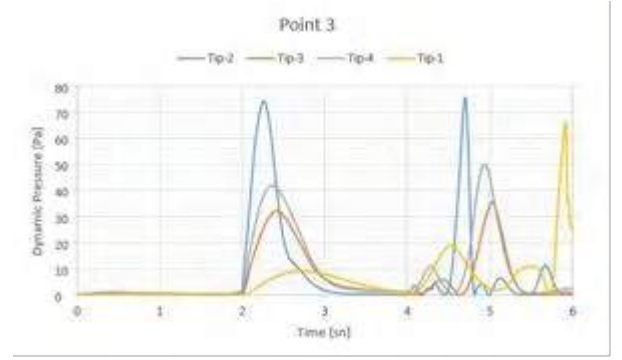
Şekil 8. Birinci noktadan (Point 1) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 9’ da ikinci nokta (Point 2) için 6 saniye boyunca elde edilen dinamik basınç değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde iki noktadaki en yüksek basınç değerinin 10 dereceli Tip-2 tank yapısında olduğu görülmektedir. Tip-1 tank yapısının en düşük basınç değerine sahip olmasının nedeni Şekil 5’te de görüldüğü gibi T=4 anında 2 noktasına herhangi bir sıvı teması olmadığı sol duvardan gelen dalganın altında kaldığı görülmektedir. Açıkça görülmektedir ki 20 derece açılı Tip- 3 tank yapısında ölçülen basınç değeri Tip-2 ve Tip-4’ten daha düşüktür. Buna neden olarak 4. saniyeden önce sol duvardan gelen dalganın zemin perdesi tarafından enerjisinin sönmülmesi ve daha sonra 20 derecelik perdenin akışkanı belirli hacimde durmaya zorlaması gösterilebilir.



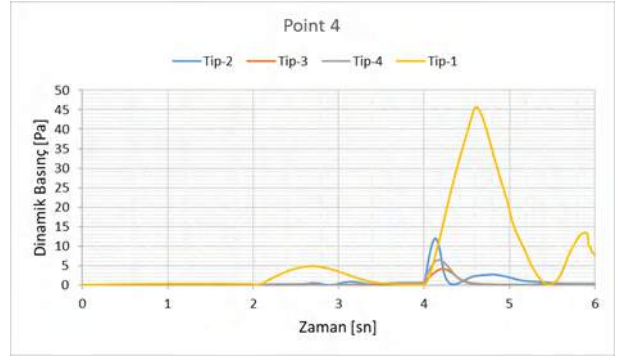
Şekil 9. İkinci noktadan (Point 2) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 10’ da üçüncü nokta (Point 3) için 6 saniye boyunca elde edilen dinamik basınç değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3 noktadan alınan basınç değerlerinin 0-4 saniye arasında ortalama dinamik basınç değeri en düşük Tip-2 tank yapısıdır. Periyodik uyarımlar sonucunda ani ters dalgaların oluşturduğu dinamik basıncı daha iyi sönmülediği ve su kütlelerinin engellediğini görülmektedir.



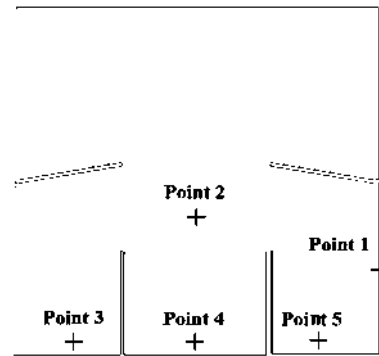
Şekil 10. Üçüncü noktadan (Point 3) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 11’ de dördüncü nokta (Point 4) için 6 saniye boyunca elde edilen dinamik basınç değerleri verilmiştir. 0-6 saniye zaman aralığında çalkantı sonucu oluşan dinamik basınç değerinin en düşük Tip-3’de olduğu görülmektedir.



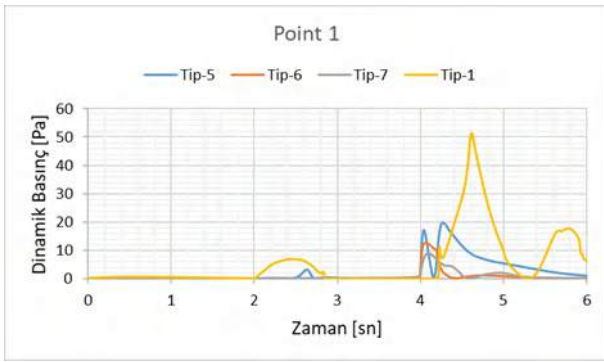
Şekil 11. Dördüncü noktadan (Point 4) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi

Çalkantı etkilerini görebilmek için Tip-1, Tip-5, Tip-6 ve Tip-7 tank yapılarının Şekil 12’de gösterilen 5 noktadan dinamik basınç değerleri elde edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırma noktaları tank yan yüzeyi (Point 1), sıvı serbest yüzeyi (Point 2) ve perdeler arası taban yüzeyi (Point 3, Point 4, Point 5) olarak belirlenmiştir. Bu noktalar perde bölmelerin etkisini görebilmek için belirlenen noktalardır.

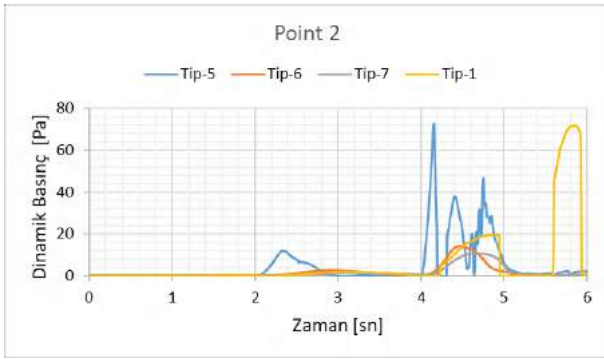


Şekil 12. Tip-1 Tip-5, Tip-6 ve Tip-7 için Basınç Ölçüm Noktaları

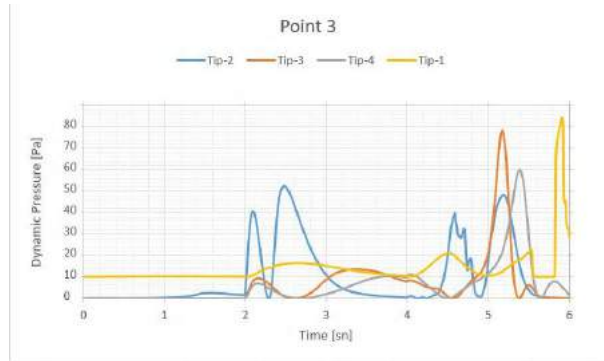
Şekil 12’de belirlenen noktalar için zamana bağlı dinamik basınç değişim grafikleri sırasıyla Şekil 13’te Point 1, Şekil 14’te Point 2, Şekil 15’te Point 3, Şekil 16’da Point 4 ve Şekil 17’de Point 5 için gösterilmektedir. +x yönünden -x yönüne geri uyarımın verildiği çalkantının oluşmaya başladığı ikinci saniye sonrası perdesiz tank Tip-1 de dinamik basınç farkı bütün noktalarda oluşmuştur. Bu durum zemine çift perde uygulaması olan diğer modellerde bir sonraki uyarım zamanı olan dördüncü saniyeye taşınmıştır. Her bir nokta için şekiller incelendiğinde tank zemininde çift perde kullanımının dinamik basınç farkını düşürdüğü açıkça görülmektedir. Ayrıca genel olarak basınç dalgasının 4-6. sn aralığında daha etkin olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 15’te üçüncü noktadan (Point 3) elde edilen basınç dalgalanmasında diğer noktalardan ölçülen basınç değerlerine göre farklılık göstermektedir. Bu durum Tip-5 tank yapısında düşük perde açısı nedeniyle dalgalanma sonucu perde üst yüzeylerine ulaşmasından kaynaklanmaktadır.



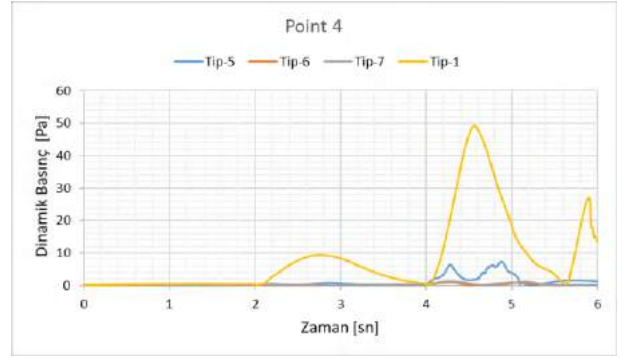
Şekil 13. Birinci noktadan (Point 1) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi



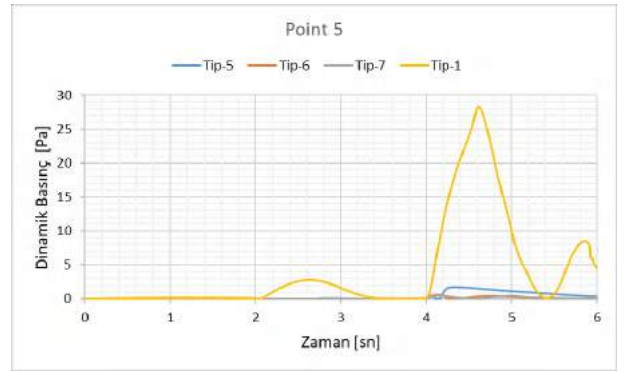
Şekil 14. İkinci noktadan (Point 2) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 15. Üçüncü noktadan (Point 3) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 16. Dördüncü noktadan (Point 4) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 17. Beşinci noktadan (Point 5) ölçülen dinamik basınç değerlerinin zamana bağlı değişimi

4. Sonuç

Bu çalışmada, zamana bağlı öteleme hareketi ile iki boyutlu (2B) kaplarda ve yakıt tanklarında sıvı çalkalanmasını simüle edebilen bir hesaplama modeli geliştirilmiştir. Sıvı-gaz ara yüzünün deformasyonu, sıvı hacim (VOF) yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Mevcut HAD çalışmasında, aynı koşullar altında yedi tip (Tip-1, Tip-2, Tip-3, Tip-4, Tip-5, Tip-6 ve Tip-7) tank analiz edilmiştir. Hesaplama sonuçları, yukarı açılı perdelerin perdesiz tiplere göre sıvı çalkantı genliğini azalttığını göstermektedir. Perdeler, sıvının tank duvarlarına doğru yükselmesini engellemekte ve bu nedenle yapısal elemanların ömrünü kısaltan çalkalanma etkilerini azaltacağı sonucuna varılmaktadır.

Farklı bölme konfigürasyonlarının çalkantı yükleri üzerindeki etkileri, kaplara bölme perdelerinin yerleştirilmesinin çalkantı dalgalarının istenmeyen sonuçlarını önemli ölçüde azaltabileceği dinamik basınç değerlerinin düşürülmesiyle açıktır. Ayrıca, perde bölmelerin kullanımı, yalnızca tank duvarına etki eden çalkantı genliğini ve dinamik darbe basınçlarını önemli ölçüde azaltmakla kalmaz, aynı zamanda serbest yüzey yükselme değerini de değiştirir.

Bu nedenle VOF analiz metodu, taşıyıcı tankerler, gemiler, yakıt tankları ve araç üzerinde istenmeyen kuvvetlere neden olabilecek dalgalanma etkilerini azaltmak için sıvı tanklarındaki dâhili perdelerin tasarımında ve optimizasyonunda kullanılabilir.

Kaynakça

- Hu Z.Q., Wang S.Y., Chen G., Chai S.H. (2017). The effects of LNG-tank sloshing on the global motions of FLNG system. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, Vol. 9(1), 114–125, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.09.007.
- Javanshir A., Elahi R., Passandideh-Fard M. (2012). Numerical simulation of liquid sloshing in a container with baffles. *12th Iran. Aerosp. Soc. Conf.*, 27(1), 54–61, doi: 10.3969/j.issn1000-4874.2012.01.008.
- Kim Y. (2007). Experimental and Numerical Analyses of Sloshing Flows. *Journal of Engineering Mathematics*, 58, 191–210, doi.org/10.1007/s10665-006-9124-42007.
- Klatte J., Darkow N., Gajdacz R., Goek S. (2020). Sloshing and pressurization tests for membrane tank: Tests, validation and models. *Acta Astronaut.*, Vol. 175, No. May, 338–348, doi: 10.1016/j.actaastro.2020.05.036.
- Nema P.K. (2014). Computational study of sloshing behavior in 3-D rectangular tank with and without baffle under Seismic Excitation. *MTech thesis*, 212, 61.
- Rudman M. & Cleary, P. W. (2009). Modelling sloshing in LNG tanks. *Seventh Int. Conf. CFD Miner. Process Ind.*, no. December, pp. 1–6.
- Sahin, G. & Bayraktar, S. (2015). Flow Visualization of Sloshing in an Accelerated Two-Dimensional Rectangular Tank. *International Journal of Engineering Technologies IJET*, 1 (3), 106-112. DOI: 10.19072/ijet.105725
- Sanapala V.S., Rajkumar M., Velusamy K., Patnaik B.S.V. (2018). Numerical simulation of parametric liquid sloshing in a horizontally baffled rectangular container. *Journal of Fluids and Structures*. vol. 76, pp. 229–250, doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2017.10.001.
- Thiagarajan K.P., Rakshit D., Repalle N. (2011). The airwater sloshing problem: Fundamental analysis and parametric studies on excitation and fill levels. *Ocean Engineering*, vol. 38, no. 2–3, pp. 498–508, doi: 10.1016/j.oceaneng.2010.11.019.
- Wang J. D., Lo S. H., Zhou D. (2013). Sloshing of liquid in rigid cylindrical container with multiple rigid annular baffles: Lateral excitations. *J. Fluids Struct.*, vol. 42, pp. 421–436, doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2013.07.005.
- White F. M. (2011) *Fluid Mechanics*, 5th Edition. McGraw-Hill.



A Note on Bipartite Graphs with Domination Number 2 and 3

Havva Kırgız^{1*}, A. Dilek Maden²

^{1*} Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0985-024X), kirgizhavva@gmail.com

² Selçuk University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7717-0241), aysedilekmeden@selcuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012651)

ATIF/REFERENCE: Kırgız, H. & Maden, A.D. (2021). A Note on Bipartite Graphs with Domination Number 2 and 3. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1071-1076.

Abstract

When each edge of a connected G graph is replaced by a unit resistor, the resistance distance is computed as the effective resistance between any two vertices in G . The Kirchhoff index of G is given by the sum of resistance distances between all pairs of vertices. The multiplicative eccentricity resistance-distance (*MERD*) of a connected graph G is defined as $\xi_R^*(G) = \sum_{\{v_i, v_j\} \subseteq V_G} \varepsilon_G(v_i) \varepsilon_G(v_j) r_G(v_i, v_j)$, where V_G is the set of vertices of G , $r_G(v_i, v_j)$ is the resistance-distance between the vertices v_i and v_j , $\varepsilon_G(v_i)$ and $\varepsilon_G(v_j)$ are the eccentricity of the vertices v_i and v_j , respectively. The *MERD* of the G can be obtained by using Kirchhoff index. In this paper, we characterize the bipartite graphs which have the smallest and largest *MERD* with domination number 2 are given. We also characterize the bipartite graphs which have the smallest *MERD* with the domination number 3.

Keywords: Electric circuits, Kirchhoff index, Bipartite graphs, Resistance-distance.

Baskınlık Sayısı 2 ve 3 Olan İki Parçalı Graflar Üzerine Bir Not

Öz

Bağlantılı bir G grafinin tüm kenarları birim direnç ile değiştirildiğinde, direnç mesafesi G 'nin herhangi iki köşesi arasındaki efektif direnç olarak hesaplanır. G 'nin Kirchhoff indeksi tüm köşe çiftlerinin direnç mesafelerinin toplamı olarak tanımlanır. V_G , G 'nin köşelerinin kümesi, $r_G(v_i, v_j)$ ise v_i ile v_j köşeleri arasındaki direnç mesafesi ve $\varepsilon_G(v_i)$, $\varepsilon_G(v_j)$ de sırasıyla v_i ve v_j köşelerinin eksantriği olmak üzere, bağlantılı bir G grafinin çarpımsal eksantrik direnç mesafesi (*ÇEDM*) $\xi_R^*(G) = \sum_{\{v_i, v_j\} \subseteq V_G} \varepsilon_G(v_i) \varepsilon_G(v_j) r_G(v_i, v_j)$ olarak tanımlanır. G grafinin *ÇEDM*'i Kirchhoff indeksini kullanarak hesaplanabilir. Bu makalede, baskınlık sayısı 2 olan iki parçalı graflardan en küçük ve en büyük *ÇEDM*'e sahip olanlar karakterize edilmiştir. Ayrıca baskınlık sayısı 3 olan iki parçalı graflardan en küçük *ÇEDM*'e sahip olanlar karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektik devreleri, Kirchhoff indeks, İki parçalı graflar, Direnç mesafesi.

* Corresponding Author: kirgizhavva@gmail.com

1. Introduction

All graphs are considered connected, simple and finite in this study. Let $G = (V_G, E_G)$ be a graph where $V_G = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ denotes the vertex set of G and E_G denotes its edge set. The distance between any two vertices v_i and v_j in G is denoted by $d_G(v_i, v_j)$ is the length of shortest path between v_i and v_j . The eccentricity of a vertex v_i is denoted by $\varepsilon_G(v_i)$ is the maximum distance between v_i and a vertex in V_G . The diameter D of G is $\max\{\varepsilon_G(v_i) : v_i \in V_G\}$. The resistance distance is denoted by $r_G(v_i, v_j)$ which is defined as the effective resistance between any two vertices v_i and v_j , in G when all edges of G is replaced by a resistor of 1 Ohm. Let a battery be connected between vertices v_i and v_j ; and let $I > 0$ be the net current. The effective resistance $r_G(v_i, v_j)$ between vertices v_i and v_j is defined by

$$r_G(v_i, v_j) = \frac{v_i - v_j}{I}$$

Suppose that G is a connected weighted graph and w_{ij} is the weight of the edge between v_i and v_j vertices. The resistance distance is defined as

$$r_G(v_i, v_j) = \frac{1}{w_{ij}}$$

when G is edge weighted. Firstly, Klein and Randic [11] introduced the resistance distance, resistance distance matrix and Kirchhoff index [3, 11] on the basis of electrical network theory.

The MERD $\xi_r^*(G)$ of a graph G is

$$\xi_r^*(G) = \sum_{v_i, v_j \in V_G} (\varepsilon_G(v_i) \varepsilon_G(v_j) r_G(v_i, v_j))$$

where $\varepsilon_G(v_i)$ and $\varepsilon_G(v_j)$ are the eccentricity of the related vertices [8].

The minimum cardinality set $S \subseteq V_G$ of vertices is called the domination number of graph G when every vertex in $V_G - S$ is adjacent to a vertex in S . Domination number can be denote by $\gamma(G) = \gamma$. Domination number is well studied in graph theory [1, 2, 4, 5, 6, 7, 12, 14].

In this paper, we characterize the bipartite graphs of domination number $\gamma = 2$ and $\gamma = 3$ which have the smallest and largest MERD.

2. Material and Method

We give some theoretical background related to bipartite graphs and the notion of domination number.

The graph $B_\gamma(n_1, n_2, \dots, n_{2\gamma-1})$ with order $N = \sum_{i=1}^{2\gamma-1} n_i$ is defined by changing the i th vertex on the path $P_{2\gamma-1}$ by independent sets V_i of n_i vertices. If any two vertices in the path $P_{2\gamma-1}$ are adjacent, these two vertices are also adjacent when they are in distinct sets. The graph $B_\gamma(n_1, n_2, \dots, n_{2\gamma})$ with order $N = \sum_{i=1}^{2\gamma} n_i$ is defined by changing the i th vertex on the path $P_{2\gamma}$ by independent sets V_i of n_i vertices. If any two vertices in the path $P_{2\gamma}$ are adjacent, these two vertices are also adjacent when they are in distinct sets. We should note that $B_\gamma(n_1, n_2, \dots, n_{2\gamma-1})$ and $B_\gamma(n_1, n_2, \dots, n_{2\gamma})$ are bipartite graphs with the same domination number γ .

In the following, we give some useful lemmas for the proof of our main results.

Lemma 2.1.

Let $G^+ = G + e$ where e is a new edge between any two distinct vertices of G . Then $\xi_r^*(G) > \xi_r^*(G^+)$ [9].

Lemma 2.2.

Let G be a bipartite graph of diameter $D \geq 3$. Then G is a subgraph of a member in $B_D(n_1 = 1, n_2, \dots, n_D, n_{D+1} = 1)$ [10].

We obtain the following result by using Lemma 2.2.

Corollary 2.3.

If $\gamma \geq 2$, all bipartite graphs with domination number γ is a subgraph of a member in the class of graphs

$$B_\gamma(n_1 = 1, n_2, n_3, \dots, n_{2\gamma-1} = 1)$$

or

$$B_\gamma(n_1 = 1, n_2, n_3, \dots, n_{2\gamma} = 1).$$

Lemma 2.4.

Let $G = B_D(n_1, n_2, \dots, n_{D+1})$ where D is the diameter of graph G . The Kirchhoff index $Kf(G)$ of the graph G is

$$Kf(G) = \sum_{i=1}^{D+1} \left(\frac{N - \sum_{k=1}^{i-1} n_k}{n_{i-1} n_i} \sum_{k=1}^{i-1} n_k \right) + N \sum_{j=1}^{D+1} \frac{n_j - 1}{n_{j-1} + n_{j+1}}$$

where $n_0 = n_{D+2} = 0$ [10].

Using the above lemma, the following corollary can be given.

Corollary 2.5.

If we use the domination number γ of graph G instead of the diameter, then we calculate the Kirchoff index of G as follows:

$$Kf(G) = \sum_{i=1}^q \left(\frac{N - \sum_{k=1}^{i-1} n_k}{n_{i-1} n_i} \sum_{k=1}^{i-1} n_k \right) + N \sum_{j=1}^q \frac{n_j - 1}{n_{j-1} + n_{j+1}}$$

where

$$q = \begin{cases} 2\gamma \text{ and } n_0 = n_{2\gamma+1} = 0, & \text{if } N = \sum_{i=1}^{2\gamma} n_i, \\ 2\gamma - 1 \text{ and } n_0 = n_{2\gamma} = 0, & \text{if } N = \sum_{i=1}^{2\gamma-1} n_i. \end{cases}$$

3. Results

In this section we give our main results for $B_\gamma(n_1, n_2, \dots, n_{2\gamma})$ with order $N = \sum_{i=1}^{2\gamma} n_i$. Similar results can be given for $B_\gamma(n_1, n_2, \dots, n_{2\gamma-1})$ with order $N = \sum_{i=1}^{2\gamma-1} n_i$.

Theorem 3.1.

Let G be a bipartite graph with $N(N \geq 6)$ vertices and domination number $\gamma = 2$. The graphs

$$B_2(1, \lfloor N/2 \rfloor, \lceil N/2 \rceil, 1)$$

have the smallest MERD.

Proof. Let G be a bipartite graph with domination number $\gamma = 2$ and N vertices. The graph G should be in the class $B_2(1, n_2, n_3, 1)$. Then by Corollary 2.5 we can calculate $Kf(B_2(1, K, N - K - 2, 1))$ where $1 \leq K \leq 3$.

The MERD of $B_2(1, K, N - K - 2, 1)$ (see, Fig. 1) is given by

$$\begin{aligned} \xi_R^*(B_2(1, K, N - K - 2, 1)) &= 6Kf(B_2(1, K, N - K - 2, 1)) \\ &+ 3r_G(a_1, d_1) - 2 \left[\sum_{x_i \in V_2, y_j \in V_3} r_G(x_i, y_j) + \sum_{x_i, x_j \in V_2} r_G(x_i, x_j) \right] \\ &- 2 \sum_{y_i, y_j \in V_3} r_G(y_i, y_j). \end{aligned}$$

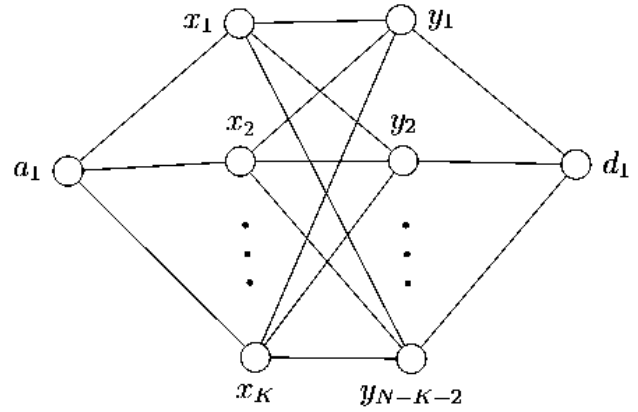


Fig. 1 $B_2(1, K, N - K - 2, 1)$.

We calculate $r_G(a_1, d_1)$ at first. We put a battery between a_1 and d_1 . The voltages at x_1, x_2, \dots, x_K and $y_1, y_2, \dots, y_{N-K-2}$ are the same. So, we contract them into the vertices x' and y' , respectively. The contracted graph has new resistance distance values on its each edge:

$$\begin{aligned} r_G(a_1, x') &= 1/K, \quad r_G(x', y') = 1/(K(N - K - 2)), \\ r_G(y', d_1) &= 1/(N - K - 2). \end{aligned}$$

Then we can easily obtain $r_G(a_1, d_1)$:

$$r_G(a_1, d_1) = \frac{1 - N}{K(K - N + 2)}.$$

Now, we should find $\sum_{x_i \in V_2, y_j \in V_3} r_G(x_i, y_j)$ (Fig. 2). In this step, it

is enough to find $r_G(x_1, y_1)$. We delete $r_G(x_1, y_1)$ edge to obtain $B_2^-(1, K, N - K - 2, 1)$. We put a battery between x_1 and y_1 . The voltages at x_2, x_3, \dots, x_K and $y_2, y_3, \dots, y_{N-K-2}$ are the same. So we contract them into the vertices x' and y' , respectively.

This yields a new contracted graph and the resistance distance of the new graph is given as follows (Fig. 3):

$$\begin{aligned} r_G(a_1, x') &= r_G(y_1, x') = 1/(K - 1), \\ r_G(a_1, x_1) &= r_G(d_1, y_1) = 1, \\ r_G(x', y') &= 1/((K - 1)(N - K - 3)), \\ r_G(d_1, y') &= r_G(a_1, y') = 1/(N - K - 3). \end{aligned}$$

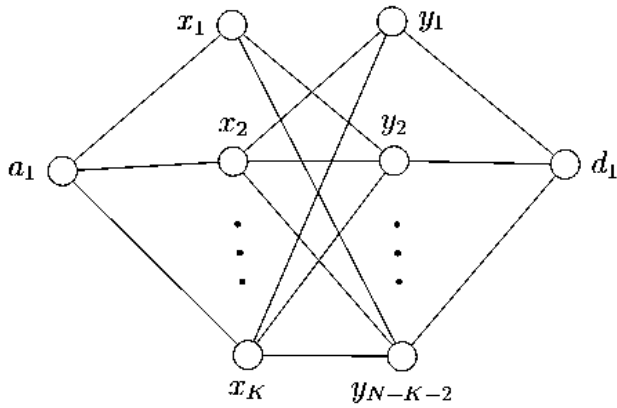


Fig. 2. Graphs used to find $\sum_{x_i \in V_2, y_j \in V_3} r_G(x_i, y_j)$.

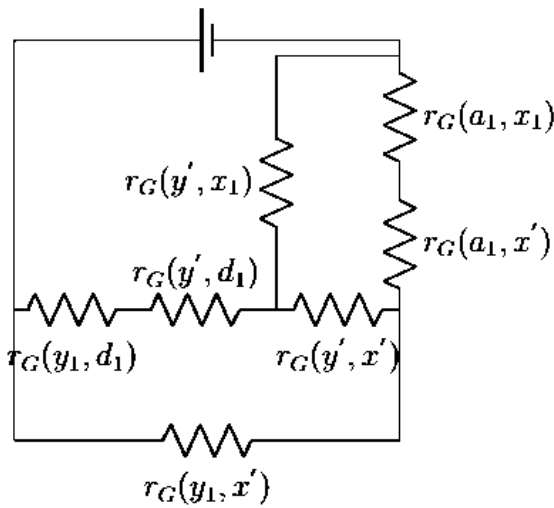


Fig. 3. The circuit diagram of Fig.2.

We compute $r_G^-(x_1, y_1)$ by using $Y-\Delta$ equivalent transformation:

$$r_G^-(x_1, y_1) = \frac{K^2(1-N) + 2K + KN(N-3K) + 1}{(K^2 - K(2+N) + 1)(K^2 + K(2-N) - 1)}$$

and

$$\sum_{x_i \in V_2, y_j \in V_3} r_G(x_i, y_j) = \frac{K^2N - K^2 - KN^2 + 3KN - 2K - 1}{(K - N + 1)(K + 1)}$$

We calculate $r_G(x_1, x_2)$ to find $\sum_{x_i, x_j \in V_2} r_G(x_i, x_j)$. Now, we put a battery between x_1 and x_2 . Contracting x_3, x_4, \dots, x_K and $y_1, y_2, \dots, y_{N-K-2}$ into the vertices x' and y' , respectively.

Then we obtain $r_G(x_1, x_2)$ by using $Y-\Delta$ equivalent transformation:

$$r_G(x_1, x_2) = 2 / (N - K - 1)$$

and

$$\sum_{x_i, x_j \in V_2} r_G(x_i, x_j) = \frac{K(K-1)}{N-K-1}$$

Lastly, we compute $\sum_{y_i, y_j \in V_3} r_G(y_i, y_j)$ by using circuit diagrams.

We use a method similar to the one used to calculate

$$\sum_{x_i, x_j \in V_2} r_G(x_i, x_j)$$

$$\sum_{y_i, y_j \in V_3} r_G(y_i, y_j) = \frac{(N-K-2)(N-K-3)}{K+1}$$

Finally we calculate the MERD of $B_2(1, K, N-K-2, 1)$ as follows:

$$\begin{aligned} \xi_R^*(B_2(1, K, N-K-2, 1)) &= 6Kf(B_2(1, K, N-K-2, 1)) \\ &+ \frac{3(1-N)}{K(K-N+2)} - 2 \left[\frac{K^2N - K^2 - KN^2 + 3KN - 2K - 1}{(K-N+1)(K+1)} \right] \\ &- \frac{2K(K-1)}{N-K-1} - \frac{2[(N-K-2)(N-K-3)]}{K+1} \end{aligned}$$

It can be easily seen that $\xi_R^*(B_2(1, K, N-K-2, 1))$ reaches its minimum value for $K = (N-2)/2$. If N is even

$$\begin{aligned} \xi_R^*(B_2(1, K, N-K-2, 1)) \\ = \frac{K^3(8K-28) + N(44N+60) - 128}{N(N^2 - 4N + 4)} \end{aligned}$$

If N is odd we have

$$\xi_R^*(B_2(1, K, N-K-2, 1)) = \frac{8N^3 - 28N^2 + 52N}{N^2 - 4N + 3}$$

Theorem 3.2.

Let G be a bipartite graph with N vertices and domination number $\gamma = 2$. Then the graphs

$$B_2(\lfloor N/2 \rfloor - 1, 1, 1, \lceil N/2 \rceil - 1)$$

have the largest MERD.

Proof. Since the bipartite graphs with domination number $\gamma = 2$ which have the largest Kirchhoff index are tree, the bipartite graphs which have the largest MERD should be a member in $B_2(K, 1, 1, N - K - 2)$ ($1 \leq K \leq N - 3$). From Corollary 2.5, we have

$$Kf(B_2(K, 1, 1, N - K - 2)) = N^2 - (K + N)(K + 2) + 1.$$

We take

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_{N-K-2}\}$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_K\}$, $Y = \{y_1\}$ and $Z = \{z_1\}$ where T, X, Y and Z are independent sets of n_i vertices.

Hence,

$$\begin{aligned} \xi_R^*(B_2(K, 1, 1, N - K - 2)) &= 6Kf(B_2(K, 1, 1, N - K - 2)) \\ &- 2r_G(y_1, z_1) + 3 \left(\sum_{x_i \in X, t_j \in T} r_G(x_i, t_j) + \sum_{x_i, x_j \in X} r_G(x_i, x_j) \right) \\ &+ 3 \sum_{t_i, t_j \in T} r_G(t_i, t_j). \end{aligned}$$

Clearly,

$$\begin{aligned} r_G(y_1, z_1) &= 1, \quad \sum_{t_i, t_j \in T} r_G(t_i, t_j) = \frac{2(N - K - 2)(N - K - 3)}{2}, \\ \sum_{x_i \in X, t_j \in T} r_G(x_i, t_j) &= 3K(N - K - 2), \\ \sum_{x_i, x_j \in X} r_G(x_i, x_j) &= \frac{2K(K - 1)}{2}. \end{aligned}$$

Thus, we have

$$\begin{aligned} \xi_R^*(B_2(K, 1, 1, N - K - 2)) \\ = 9K(N - K) - 18K + 9N(1 - 3N) + 22. \end{aligned}$$

One can easily see that $\xi_R^*(B_2(K, 1, 1, N - K - 2))$ has the maximum value for $K = \lfloor N/2 \rfloor - 1$.

In the following theorem, we consider the almost complete bipartite graphs $G(m, p) = K_{m,m} - pK_2$ for convenience. The vertex set of the almost complete bipartite graph is $V = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\} \cup \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ and its edge set is $E = \{\alpha_i \beta_j \mid 1 \leq i, j \leq m\} \setminus \{\alpha_i \beta_i, \alpha_2 \beta_2, \dots, \alpha_p \beta_p\}$ [13].

Now, we obtain the bipartite graphs which have the smallest MERD with domination number $\gamma = 3$ and order $N(N = 4\alpha, \alpha \in \mathcal{C}^+ - \{1\})$.

Theorem 3.3.

The graphs

$$B_3\left(1, \frac{N}{4}, \frac{N}{2} - 2, \frac{N}{4}, 1\right)$$

have the smallest MERD in almost complete bipartite graphs of order $N(N = 4\alpha, \alpha \in \mathcal{C}^+ - \{1\})$ with domination number $\gamma = 3$.

Proof. Since the bipartite graphs with domination number $\gamma = 3$ is a subgraph of

$$B_3(n_1 = 1, n_2 = M, n_3 = K, n_4 = N - M - K - 2, n_5 = 1)$$

where $N = 4\alpha, \alpha \in \mathcal{C}^+ - \{1\}$ and $1 \leq M + K \leq N - 2$, by Corollary 2.5. we have

$$\begin{aligned} Kf(B_3(1, M, K, N - M - K - 2, 1)) \\ = \frac{N-1}{M} - \frac{N-1}{K+M-N+2} - N \left(\frac{K-1}{K-N+2} - \frac{M-1}{K+1} \right) \\ + \frac{(K+M+1)(K+M-N+1)}{K(K+M-N+2)} - \frac{(M+1)(M-N+1)}{KM} \\ + \frac{N(K+M-N+3)}{K+1}. \end{aligned}$$

Let

$$X = V_1 \cup V_3 \cup V_5 = \{a_1, y_1, y_2, \dots, y_K, d_1\}$$

and

$$Y = V_2 \cup V_4 = \{x_1, x_2, \dots, x_K, z_1, z_2, \dots, z_{N-M-K-2}\}$$

where (X, Y) is the bipartition of the graph. Since the graph is an almost complete bipartite graph we have $X = Y$.

The eccentricities of vertices a_1 and d_1 are $\varepsilon(a_1) = \varepsilon(d_1) = 4$. Also, the eccentricities of vertices in V_2, V_4 and V_3 are $\varepsilon(V_2) = \varepsilon(V_4) = 3, \varepsilon(V_3) = 2$. Thus, the MERD of $B_3(1, M, K, N - M - K - 2, 1)$ is

$$\begin{aligned} \xi_R^*(B_3(1, M, K, N - M - K - 2, 1)) \\ = 12Kf(B_3(1, M, K, N - M - K - 2, 1)) \\ + 4r_G(a_1, d_1) - 6 \left[\sum_{x_i \in V_2, y_j \in V_3} r_G(x_i, y_j) + \sum_{y_i \in V_3, z_j \in V_4} r_G(y_i, z_j) \right] \end{aligned}$$

$$-8 \sum_{y_i, y_j \in V_3} r_G(y_i, y_j) - 3 \left(\sum_{x_i, x_j \in V_2} r_G(x_i, x_j) + \sum_{z_i, z_j \in V_4} r_G(z_i, z_j) \right) - 3 \sum_{x_i \in V_2, z_j \in V_4} r_G(x_i, z_j).$$

Clearly, the graphs

$$B_3 \left(1, \frac{N}{4}, \frac{N}{2} - 2, \frac{N}{4}, 1 \right)$$

have the smallest *MERD* in almost complete bipartite graphs of order $N(N = 4\alpha, \alpha \in \mathbb{Z}^+ - \{1\})$ with domination number $\gamma = 3$.

4. Conclusions and Recommendations

Jiang et al. [10], identified bipartite graphs of diameter 3 with the largest and smallest Kirchhoff index. In this paper, we identify the bipartite graphs with domination number $\gamma = 2$ having the smallest, largest and with domination number $\gamma = 3$ having the smallest *MERD* by using the results in [10]. Our main method consists of basic electric circuit rules. Future works include finding the largest *MERD* of the bipartite graphs with domination number $\gamma = 3$ and the smallest, largest *MERD* of the bipartite graphs with domination number $\gamma \geq 4$.

5. Acknowledge

This work is based on Havva Kirgiz's Ph.D. dissertation.

References

- [1] S. Artmann, and A. Pruchnewski, "Constructing a Dominating Set for bipartite graphs in several Rounds", *Techn. Univ., Inst. für Mathematik*, 2009.
- [2] S. Artmann and J. Harant, "Random procedures for dominating sets in bipartite graphs", *Discussiones Mathematicae Graph Theory*, vol. 30, pp. 277-288, 2010.
- [3] D. Bonchev, A.T. Balaban, X. Liu, D. J. Klein, "Molecular cyclicity and centrality of polycyclic graphs I. Cyclicity based on resistance distances or reciprocal distances", *Int. J. Quantum Chem.* vol. 50, pp. 1-20, 1994.
- [4] T. Gerlach and J. Harant, "A note on domination in bipartite graphs", *Discussiones Mathematicae Graph Theory* vol. 22, pp.229-231, 2002.
- [5] J. Harant and D. Rautenbach. "Domination in bipartite graphs." *Discrete mathematics* vol. 309, pp. 113-122, 2009.
- [6] J. Harant and A. Pruchnewski, "A note on the domination number of a bipartite graph", *Annals of Combinatorics* vol. 5, pp.175-178, 2001.
- [7] M. A. Henning, I. Schiermeyer and A. Yeo, "A new bound on the domination number of graphs with minimum degree two", *the electronic journal of combinatorics* pp.12-12, 2011.
- [8] Y. Hong, Z. Zhu, A. Luo, "Some transformations on multiplicative eccentricity resistance-distance and their

- applications", *Appl. Math. Comput.* vol. 323, pp. 75-85, 2018.
- [9] Y. Hong, Z. Zhu, A. Luo, "Extremal graphs with diameter 2 for two indices on resistance-distance", *Discrete Math.* vol. 342, pp. 487-497, 2019.
- [10] X. J. Jiang, W. H. He, Q. Liu, J. P. Li, "On the Kirchhoff index of bipartite graphs with given diameters", *Discrete Appl. Math.* vol. 283, pp. 512-521, 2020.
- [11] D. J. Klein, M. Randic, "Resistance distance", *J. Math. Chem.* vol. 12, pp. 81-95, 1993.
- [12] N. J. Rad, "New Probabilistic Upper Bounds on the Domination Number of a Graph", *The Electronic Journal of Combinatorics* pp.3-28, 2019.
- [13] L. Ye, W. Yan, "Resistance between two vertices of almost complete bipartite graphs", *Discrete Applied Mathematics*, vol. 257, pp. 299-305.
- [14] H. M. Xing, L. Sun, X. G. Chen, "An upper bound for domination number of 5-regular graphs", *Czechoslovak Mathematical Journal* vol. 56, pp. 1049-1061, 2006.



Eğrisel Yüzeyle Tabakalı Kompozit Plakların Kritik Burkulma Yüklerine Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi

Cenk Yanen¹, Murat Can Tanış², Murat Yavuz Solmaz^{3*}

¹ Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5092-8734), cyanen@firat.edu.tr

² Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6339-851X), murattanis18@gmail.com

^{3*} Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6394-0313), mysolmaz@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012879)

ATIF/REFERENCE: Yanen, C., Tanış, M.C. & Solmaz, M.Y. (2021). Eğrisel Yüzeyle Tabakalı Kompozit Plakların Kritik Burkulma Yüklerine Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1077-1082.

Öz

Bu çalışmada eğrisel yüzeyle tabakalı kompozit plakların burkulma yükü altındaki davranışlarına etki eden parametreler incelenmiştir. Bu amaçla farklı tabaka dizilimlerine, açılara ve geometrik özelliklere sahip tabakalı hibrit kompozitlerin kritik burkulma yüklerindeki değişim sayısal olarak araştırılmıştır. Kompozit malzeme tasarımında fiber malzemesi olarak karbon, cam ve aramid fiber tercih edilmiş ve 6 farklı dizilim uygulanmıştır. Kumaş türünün yanı sıra oryantasyon açılarının kritik burkulma yükü üzerindeki etkisini inceleyebilmek için 0°, 45°, -45° ve 90° açılara sahip tek yönlü kumaşlar 6 farklı şekilde kullanılmıştır. Eğrisel yüzeyle kompozit plaklarda geometrik özelliklerin burkulma özellikleri üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için numuneler 4 farklı eğrilik yarıçapı ve 2 farklı eğrilik açısında tasarlanmıştır. Modelleme ANSYS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kritik burkulma yükleri belirlenerek kıyaslanmıştır. Eğrisel yüzeyle kompozit plaklarda eğrilik yarıçapı ve eğrilik açısı arttıkça kritik burkulma yükünün arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı hibrit kompozit, Eğrisel, modelleme, Ansys, burkulma.

Determination of Parameters Affecting Critical Buckling Loads of Curved Laminated Composite Plates

Abstract

In this study, parameters affecting the behavior of curved laminated composite plates under buckling load were investigated. For this purpose, the change in critical buckling loads of layered hybrid composites with different layer arrangements, angles and geometrical properties was investigated numerically. In the composite material design, carbon, glass and aramid fiber were preferred as fiber material and 6 different arrays were applied. In order to examine the effect of orientation angles on critical buckling load as well as fabric type, unidirectional fabrics with 0°, 45°, -45° and 90° angles were used in 6 different ways. In order to observe the effect of geometric properties on buckling properties of curved laminated composite plates, the samples were designed with 4 different radius of curvature and 2 different curvature angles. Modeling was done using ANSYS program. As a result of the analysis, critical buckling loads were determined and compared. It has been determined that the critical buckling load increases as the radius of curvature and angle of curvature increase in curved laminated composite plates.

Keywords: Laminated hybrid composite, Curved, modeling, Ansys, buckling.

1. Giriş

Kompozit malzemeler geleneksel malzemelerde bulunmayan mekanik, termal ve elektriksel özellikleri bir arada sunmak için tasarlanmış yapılardır. Sahip oldukları eşsiz özelliklerinden dolayı kompozit malzemeler, otomotiv, uzay, havacılık ve deniz endüstrisi, savunma sanayi, inşaat sektörü ve spor ekipmanları gibi pek çok alanda artan şekilde kullanılmaktadır [1]–[8]. Kompozit malzemeler matris ve fiber olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır [9], [10]. Matris malzemesi olarak genellikle epoksi ve polyester reçine kullanılmaktadır [11]–[14]. Fiber malzemesi olarak ise en çok kullanılan malzemeler; karbon, cam ve aramid fiberlerdir [15]–[18].

Farklı oryantasyonlardaki kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine deniz suyunun etkisi Yüncüoğlu vd. tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin, geleneksel malzemelerden farklı olarak, üretiminde kullanılan matris ve fiber malzemesinin cinsi, doğrultusu, katman sayısı ve dizilimleri gibi bir çok değişkene bağlı olduğunu bildirilmiştir. Bunun yanısıra kompozit malzemelerin kullandıkları ortamında mekanik özellikler üzerinde etkisinin olduğu tespit edilmiştir [19].

Fiber malzemeler tek tek kullanılabilirdiği gibi kullanım alanının özelliklerine göre hibrit olarak bir arada kullanılması ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi araştırmacıların oldukça ilgisini çekmiştir. Cam/karbon hibrit kompozit tabakaların burkulma dayanımının delaminasyonun etkisini Julias vd. tarafından araştırılmıştır. Dört farklı delaminasyon durumuna sahip simetrik ve antisimetrik tabaka dizilimleri için kritik burkulma yükleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak yazarlar delaminasyonun yerinin ve konumunun kritik burkulma yükü üzerinde önemli etkisinin olduğunu bildirilmiştir [20]. Bası yükü altında dairesel delikli örgülü cam elyaf-epoksi kompozit plakların yük-deplasman davranışı Hakim vd. tarafından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tabakalı hibrit plaklar için malzeme tipi ve boyutunun oldukça önemli olduğunu göstermiştir [21]. Arun tarafından yapılan çalışmada örgülü cam-epoksi tabakalı kompozit plağın burkulma analizi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yazar çalışmasında uzunluk/kalınlık ve plak oryantasyonunun burkulma yüküne etkisini deneysel olarak incelemiştir [22].

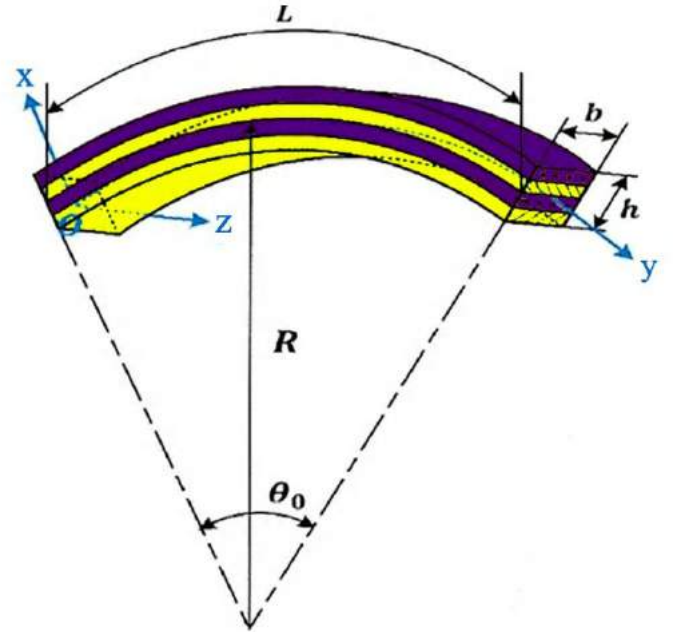
Kademeli kesitli kompozit kavisli kirişlerin serbest titreşim analizini gerçekleştiren Bariki vd., kompozit kavisli kirişlerin titreşimlerini yapısal sönüm etkisini de ele alarak analiz yapmıştır. Ayrıca analizde geometrik parametreler, sınır şartları ve fiber oryantasyonu gibi farklı parametrelerin de etkisini göz önüne alındığında kirişlerin davranışlarının çalışmada önerilen yöntem ile iyi bir oranda tahmin edilebileceği bildirilmiştir [23].

Yukarıda verilen literatür çalışmalarından görülebileceği gibi; düz plaklar ve kiriş yapılar üzerine birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen eğrisel yüzeyli kompozit yapılar üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ayrıca incelenen çalışmalarda eğrisel yüzeyli kompozitlerde eğrilik yarıçapının, eğrilik açısının ve kompozit tabaka dizilim ve oryantasyon açılarının değişiminin burkulma yükü üzerindeki etkilerinin sayısal olarak incelendiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, fiber malzemesi

olarak karbon, cam ve aramid fiberler kullanılarak modellenmiş eğrisel yüzeyli tabakalı hibrit kompozitlerin burkulma davranışları; eğrilik yarıçapı, kompozitlerin dizilimi ve açıları arasındaki oryantasyon ve yüzey alanındaki değişiklik dikkate alınarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada eğrisel yüzeyli tabakalı hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri altındaki davranışları sayısal olarak incelenmiştir. Eğrisel yüzeyli kompozit plaklarda geometrik özelliklerin etkisini inceleyebilmek için görsel Şekil 1’de verilen numune tasarlanmıştır. Tasarlanan eğrisel yüzeyli kompozitlerin kritik burkulma yüklerine etki eden parametrelerin araştırılması için ayrıntıları Tablo 1’de verilen 4 farklı numune grubu oluşturulmuş ve modelleme buna göre yapılmıştır. Geometrik özelliklerin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisinin incelenmesi için 2 farklı eğrilik açısı (θ_0) ve 4 farklı eğrilik yarıçapı (R) kullanılarak tasarım yapılmıştır. Eğrisel yüzeyli kompozit plaklarda kumaş diziliminin incelenmesi için kompozit plak üretiminde araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen karbon, cam ve aramid fiberler tercih edilmiştir. Kritik burkulma yüküne etkisinin olacağı düşünülen bir diğer faktör de oryantasyon açısının değişimidir. Bu nedenle çalışmada tek yönlü kumaşlar 0° , 45° , -45° ve 90° olmak üzere 5 farklı açıda kullanılmıştır. Kumaş kalınlıkları her fiberin kalınlığı 0,05 mm olarak kullanılmıştır. Toplam numune kalınlığımız (h) 0,25 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Numune gösterimi

ANSYS 14.5 paket programında sonlu elemanlar yöntemiyle farklı eğrilik yarıçaplarında, farklı kumaş dizilimlerinde, farklı tabaka dizilimlerinde ve iki farklı eğrilik açısından oluşacak parametrelerin burkulma yüküne olan etkileri incelenmiştir.

Sayısal çalışmada modelleme kısmı için kullanılan malzeme özellikleri literatürden alınarak kullanılmıştır. Bahsedilen özellikler Tablo 2’de verilmiştir [24].

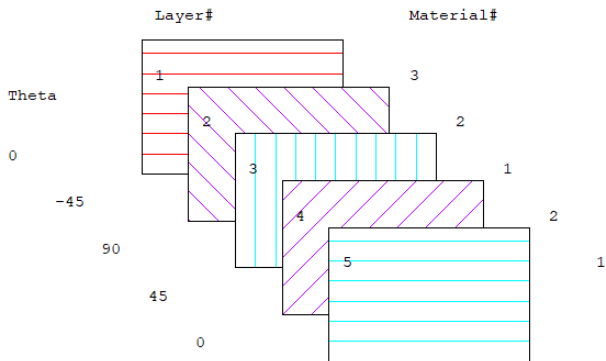
Tablo 1. Modellemede kullanılan numune tasarım planı

Araştırılan Faktör	Eğrilik Açısı	Eğrilik Yarıçapı	Tabaka Dizilimi	Oryantasyon Açılıarı
Tabaka Dizilimi	90 °	7 mm	[K/G/A/G/K] [G/K/A/K/G] [A/K/G/K/G] [A/G/K/G/K] [K/G/K/G/A] [G/K/G/K/A]	[0/-45/90/45/0]
Oryantasyon Açılıarı	90 °	7 mm	[K/G/K/G/A]	[0/-45/90/45/0] [0/45/90/-45/0] [0/90/45/-45/0] [0/-45/45/90/0] [90/0/45/0/-45] [-45/0/90/0/45]
Eğrilik Yarıçapı	90 °	3 mm 5 mm 7 mm 9 mm	[G/K/A/K/G]	[0/-45/90/45/0]
Eğrilik Açısı	90 ° 120 °	3 mm 5 mm 7 mm 9 mm 3 mm 5 mm 7 mm 9 mm	[G/K/A/K/G]	[0/-45/90/45/0]

Tablo 2. Kumaşların mekanik özellikleri

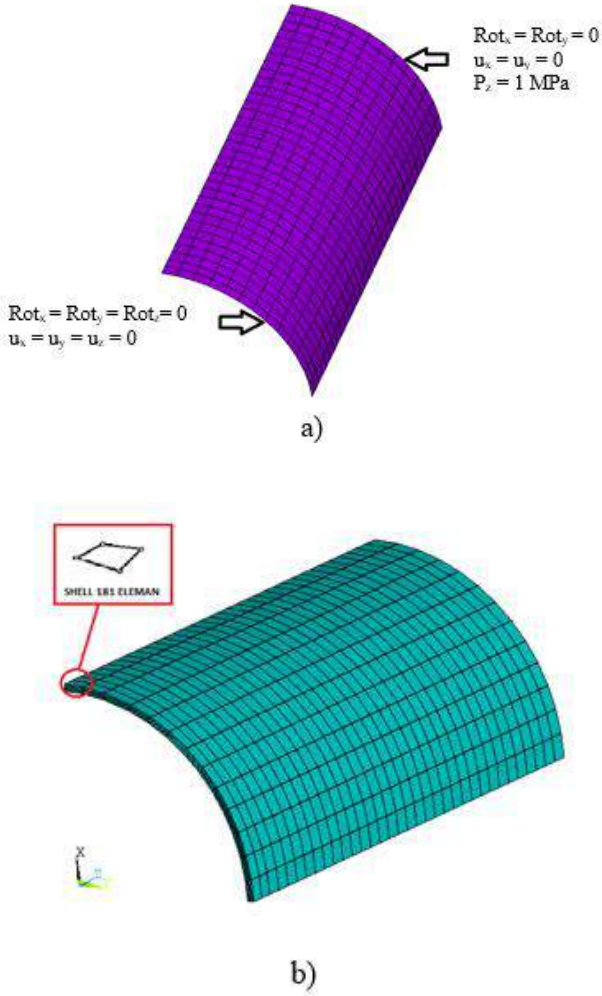
Kumaş Adı	E _x (MPa)	E _y (MPa)	E _z (MPa)	v _{xy}	v _{yz}	v _{xz}	G _{xy} (MPa)	G _{yz} (MPa)	G _{xz} (MPa)
Karbon (K)	1,81x10 ⁵	1,03x10 ⁴	1,03x10 ⁴	0,28	0,28	0,28	7170	7170	7170
Cam (G)	1,19x10 ⁵	9,28x10 ³	9,28x10 ³	0,34	0,59	0,34	4640	2930	4640
Aramid (A)	2,1x10 ⁴	2,1x10 ⁴	1x10 ⁴	0,3	0,26	0,26	3700	2000	2000

Çalışmamızda; toplamda 5 tabaka için; 2 tabaka cam fiber, 2 tabaka karbon fiber ve 1 tabaka aramid fiber kullanılmıştır. Tabakaların dizilimi, oryantasyon açıları ve kalınlıkları Şekil 2’de görülmektedir.

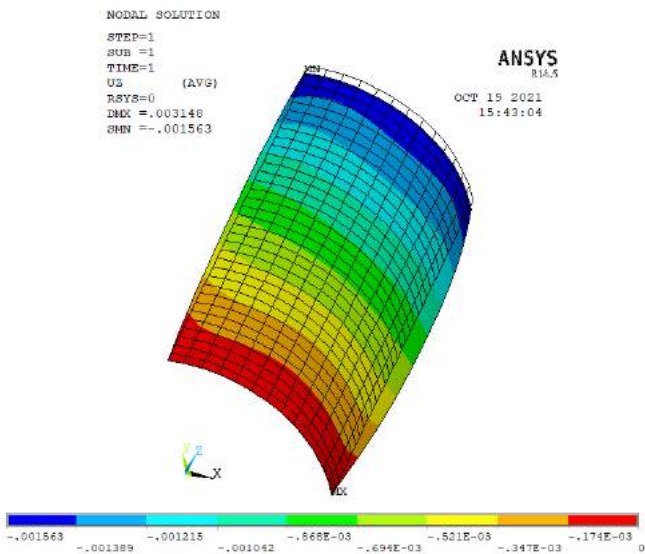


Şekil 2. Oryantasyon açılarının görüntülerini göstermesi

Şekil geometrisi için eğrilik yarıçapı, uzunluk ve eğrisel yüzey elde etmek için kullanılacak olan silindirin açı değerleri tanımlanarak model oluşturulmuştur. Model oluşturulduktan sonra numune sonlu elemanlarına ayrılmıştır. Model ortalama 490 düğüm ve 442 elemandan oluşmuştur. Mesh aralıkları sürekli eşit olup aynı hassasiyette ilerlemek için aralıklar sabit tutulmuştur. Bu çalışmada statik analiz yapılmıştır. Araştırma için belirlenen sınır şartları alt eğrisel alanın tamamının her yönden sabitlenmiştir. Üst eğrisel alanından 1 MPa kuvvet uygulanmış ve kuvvet uygulanan yerden x ve y yönündeki dönmeye kısıtlanmıştır (Şekil 3a). Kompozitin tabaka yapısı ve üç boyutlu görünümü Şekil 3b.’de gösterilmektedir. Gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 3. a) Sınır şartları b) sonlu eleman ağ yapısı

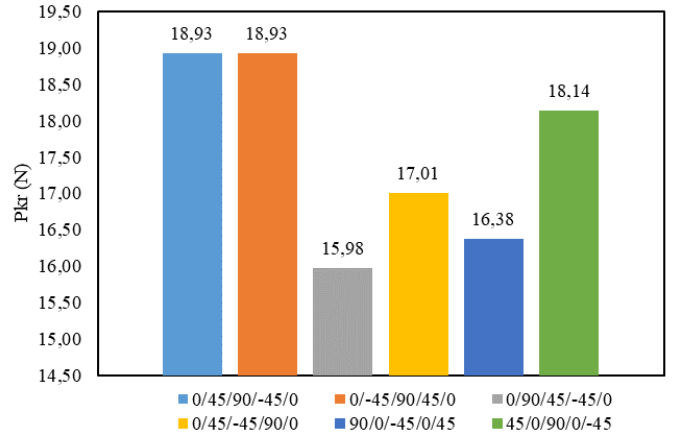


Şekil 4. Analiz sonuçlarının görüntülenmesi

3. Bulgular ve Tartışma

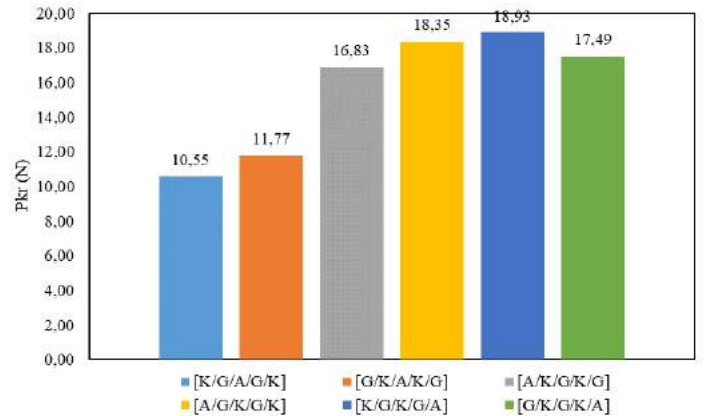
Eğrisel yüzeyli hibrit kompozit plaklarda kritik burkulma yüküne etki eden parametreler incelenmiştir. Oryantasyon açılarının değişiminin Pkr yükü üzerindeki etkisi [K/G/K/G/A] dizilimine sahip 7 mm çapında ve 20 mm uzunluğunda 90° eğrilik açısındaki numuneler kullanılarak araştırılmış ve sonuçları Şekil 5’de verilmiştir.

Şekil 5’de oryantasyon açısının değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi görülmektedir. En düşük Pkr yükü [0/90/45/-45/0] numunede, en yüksek Pkr değeri ise [0/-45/90/45/0] numunede meydana gelmiştir. En yüksek Pkr değerinin en düşük Pkr değerine göre %18,46 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum oryantasyon açısı değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. [0/45/90/-45/0] ve [0/-45/90/45/0] dizilimine sahip numuneler incelendiğinde, numune dizilimleri birbirlerine çok benzer olduğu için Pkr değerlerinin birbirine çok yakın olduğu bulunmuştur. [0/90/45/-45/0] ile [0/45/-45/90/0] yakın çünkü kumaş dizilimleri birbirine yakın şekilde dizilmiştir. [90/0/-45/0/45] ile [45/0/90/0/-45] yakın çünkü en dıştaki dizilimlerde düşey yönde tutacak lifler bulunmaktadır.



Şekil 5. Oryantasyon açılarının değişiminin incelenmesi

Kumaş dizilimlerinin değişiminin Pkr yükü üzerindeki etkisi [0/-45/90/45/0] dizilimine sahip 7 mm çapında ve 20 mm uzunluğunda 90° eğrilik açısındaki numuneler kullanılarak araştırılmış ve sonuçları Şekil 6’da verilmiştir.

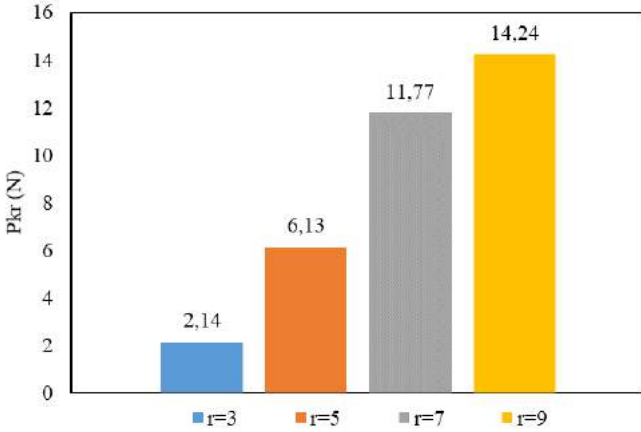


Şekil 6. Kumaş diziliminin etkisinin incelenmesi

Şekil 6’da tabaka dizilimindeki değişimlerin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi görülmektedir. En düşük kritik burkulma yükü [K/G/A/G/K] numunede, en yüksek değeri ise [K/G/K/G/A] numunede meydana gelmiştir. En yüksek Pkr değerinin en düşük

Pkr değerine göre % 79,72 daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum tabaka dizilimindeki değişimin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Bu grafikten yola çıkarak aramid'in merkezde olması durumunda kritik burkulma yükleri düşüken aramid fiberin kenarlarda kullanılması durumunda kritik burkulma yükünün arttığını görülmüştür.

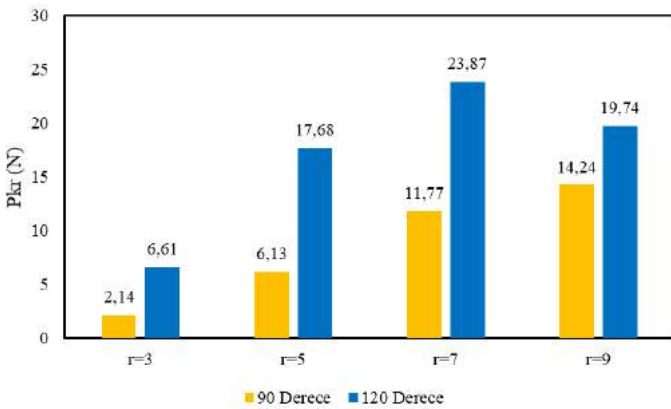
Eğrilik yarıçaplarındaki değişiminin Pkr yükü üzerindeki etkisi [0/-45/90/45/0] oryantasyon dizilimine, [G/K/A/K/G] tabaka dizilimine ve 20 mm uzunluğunda 90 ° eğrilik açısındaki numuneler kullanılarak araştırılmış ve sonuçları Şekil 7 'de verilmiştir.



Şekil 7. Eğrilik yarıçapının değişiminin incelenmesi

Şekil 7'de eğrilik yarıçapındaki değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi görülmektedir. En düşük Pkr r = 3 mm numunede en yüksek değeri r = 9 mm olan numunede meydana gelmiştir. En düşük Pkr değerinin en yüksek Pkr değerine göre % 84,97 daha düşük olduğu görülmektedir. Bu grafikten yola çıkarak eğrilik yarıçapı arttıkça kritik burkulma yükünün arttığı görülmüştür. Eğrilik yarıçapı yüksek olan parçaların daha yüksek burkulma yüklerine dayanabildiği tespit edilmiştir.

Eğrilik açılarındaki değişiminin Pkr yükü üzerindeki etkisi [0/-45/90/45/0] oryantasyon dizilimine, [G/K/A/K/G] tabaka dizilimine ve 20 mm uzunluğunda belirlenen tüm eğrilik yarıçaplarının bulunduğu numuneler kullanılarak araştırılmış ve sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Derecenin değişiminin etkisinin incelenmesi

Şekil 8'de eğrilik açısının değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisi görülmektedir. En düşük Pkr yükü 90°, r=3mm numunede en yüksek Pkr değeri ise 120 °, r=7mm numunede meydana gelmiştir. En düşük Pkr değerinin en yüksek Pkr

değerine göre % 91,03 daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum eğrilik açısı değişiminin kritik burkulma yükü üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. 90 °, r = 3 mm ve 120 °, r = 3 mm eğrilik açılara sahip numuneler incelendiğinde bir artış görülmektedir. Aynı eğrilik yarıçapına sahip diğer tüm numunelerde incelendiğinde eğrilik açısı arttıkça kritik burkulma yükünde artış görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada eğrisel yüzeyli tabakalı hibrit kompozit plakların burkulma yükü altındaki davranışlarına etki eden parametreler sayısal olarak incelenmiştir. Tabakalı hibrit kompozit plakların oryantasyon açıları, tabaka dizilimleri, eğrilik yarıçapları ve eğrilik açıları değiştirilmiş ve kritik burkulma yükleri belirlenmiştir. ANSYS paket programı kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- İncelenen grafik ve verilerin ışığında en yüksek kritik burkulma yükü [G/K/A/K/G] tabaka dizilimli, [0/-45/90/45/0] oryantasyona sahip, 7 mm eğrilik yarıçapı ve 120° eğrilik açısına sahip numunede 23,87 N olarak gözlemlenmiştir.
- En düşük kritik burkulma yükü [G/K/A/K/G] tabaka dizilimli, [0/-45/90/45/0] oryantasyona sahip, 3 mm eğrilik yarıçapı ve 90 ° eğrilik açısına sahip olan numunede 2,14 N olarak tespit edilmiştir.
- Oryantasyon açılarının değişiminden kaynaklı farklılıkların sebebini düşey yüklere dayanabilen 45°, 90°, -45° yönlerindeki lifler merkez düzlemde kullanıldığı zaman kritik burkulma yüklerinde düşüş gözlemlendiği, bu liflerin merkez düzlemde dış yüzeylere yerleştirildiği durumda ise kritik burkulma yüklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.
- Tabaka dizilimleri göz önüne alındığında aramid fiber kumaşların kritik burkulma yükünü arttırdığı tespit edilmiştir. Bu kumaş merkez düzlemde kullanıldığında burkulma yük değerleri düşük çıkarken kumaş merkez düzlemin dışına kaydırıldığında burkulma yük değerlerinin arttığı belirlenmiştir.
- Eğrilik yarıçapları değişiminin etkisi incelendiğinde, eğrilik yarıçapı arttıkça kritik burkulma yükü dayanımını da arttığı görülmüştür.
- Eğrilik açıları değişiminden eğrilik açısı arttıkça kritik burkulma yükünün arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında: Aramid kumaşının merkez düzlemde daha ziyade merkezden daha uzakta olan dış düzlemlerde kullanılmasının ilave olarak üretim parametrelerinin müsaade ettiği oranda büyük eğrilik yarıçapı ve eğrilik açıları tercih edilmesinin burkulma direnci anlamında pozitif katkı yapacağı sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- S. Sajjan and D. Philip Selvaraj, "A review on polymer matrix composite materials and their applications," *Mater. Today Proc.*, vol. 47, pp. 5493–5498, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.034>.
- J. Jeremy Jeba Samuel, R. Ramadoss, K. N. Gunasekaran, K. Logesh, S. J. P. Gnanaraj, and A. A. Munaf, "Studies on mechanical properties and characterization of carbon fiber reinforced hybrid composite for aero space application," *Mater. Today Proc.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.304>.
- M. Naito et al., "Applicability of composite materials for space radiation shielding of spacecraft," *Life Sci. Sp. Res.*, vol. 31, pp. 71–79, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2021.08.004>.
- M. S. Sarfraz, H. Hong, and S. S. Kim, "Recent developments in the manufacturing technologies of composite components and their cost-effectiveness in the automotive industry: A review study," *Compos. Struct.*, vol. 266, p. 113864, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113864>.
- N. Gort, O. Döbrich, S. Grieder, M. Küng, and C. Brauner, "Experimental analysis of orthotropic strength properties of non-crimp fabric based composites for automotive leaf spring applications," *Compos. Struct.*, vol. 271, p. 114154, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114154>.
- Y. M. Zhu, "Performance of Ti2AlC composite material in sports equipment," *Sci. Technol. Mater.*, vol. 30, no. 2, pp. 99–102, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.stmat.2018.02.004>.
- C. Yanen and M. Y. Solmaz, "Ballistic tests of lightweight hybrid composites for body armor," *Mater. Test.*, vol. 61, no. 5, pp. 425–433, 2019, doi: [doi:10.1016/j.mat.2019.05.005](https://doi.org/10.1016/j.mat.2019.05.005).
- M. Helal and E. Fathallah, "Finite element analysis and design optimization of a non-circular sandwich composite deep submarine pressure hull," *Mater. Test.*, vol. 62, no. 10, pp. 1025–1032, 2020, doi: [doi:10.1016/j.mat.2020.10.005](https://doi.org/10.1016/j.mat.2020.10.005).
- M. P. Westman, L. S. Fifield, K. L. Simmons, S. Laddha, and T. A. Kafentzis, "Natural fiber composites: a review," 2010.
- S. D. S. Koppaarthi and A. N. Netravali, "Review: Green composites for structural applications," *Compos. Part C Open Access*, vol. 6, p. 100169, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100169>.
- Z. Zhang, K. Fu, and Y. Li, "Improved interlaminar fracture toughness of carbon fiber/epoxy composites with a multiscale cellulose fiber interlayer," *Compos. Commun.*, vol. 27, p. 100898, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.100898>.
- M. Y. Mahmoud Zaghoul, M. M. Yousry Zaghoul, and M. M. Yousry Zaghoul, "Developments in polyester composite materials – An in-depth review on natural fibres and nano fillers," *Compos. Struct.*, vol. 278, p. 114698, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114698>.
- R. Orhan, E. Aydoğmuş, S. Topuz, and H. Arslanoğlu, "Investigation of thermo-mechanical characteristics of borax reinforced polyester composites," *J. Build. Eng.*, vol. 42, p. 103051, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103051>.
- Y. E. Erdoğan, E. E. Korkmaz, and Ş. Temiz, "Effect of graphene nanoplatelet filling on mechanical properties of natural fiber reinforced polymer composites," *Mater. Test.*, vol. 63, no. 4, pp. 322–328, 2021, doi: [doi:10.1515/mt-2020-0046](https://doi.org/10.1515/mt-2020-0046).
- D. May, C. Goergen, and K. Friedrich, "Multifunctionality of polymer composites based on recycled carbon fibers: A review," *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.*, vol. 4, no. 2, pp. 70–81, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.01.001>.
- J. Du et al., "A review on machining of carbon fiber reinforced ceramic matrix composites," *Ceram. Int.*, vol. 45, no. 15, pp. 18155–18166, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.112>.
- P. S. Hatti, S. K. L., A. B. Somanakatti, and R. M., "Investigation on tensile behavior of glass-fiber reinforced polymer matrix composite with varying orientations of fibers," *Mater. Today Proc.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.196>.
- B. Zhang, L. Jia, M. Tian, N. Ning, L. Zhang, and W. Wang, "Surface and interface modification of aramid fiber and its reinforcement for polymer composites: A review," *Eur. Polym. J.*, vol. 147, p. 110352, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110352>.
- E. Uğur Yüncüoğlu, S. Turgut Ince, and E. Bağcı, "Strength of carbon fiber/epoxy in sea water," *Mater. Test.*, vol. 63, no. 9, pp. 811–815, 2021, doi: [doi:10.1515/mt-2021-0005](https://doi.org/10.1515/mt-2021-0005).
- A. Julias, S. Mohmeed, and V. Murali, "Effect of delamination on buckling strength of unidirectional glass-carbon hybrid laminates," *Indian J. Eng. Mater. Sci.*, vol. 21, pp. 23–29, Mar. 2014.
- H. Aljibori et al., "Load–displacement behavior of glass fiber/epoxy composite plates with circular cut-outs subjected to compressive load," *Mater. Des. - MATER Des.*, vol. 31, pp. 466–474, Jan. 2010, doi: [10.1016/j.matdes.2009.07.005](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.07.005).
- A. K. R., "Buckling Analysis of Woven Glass epoxy Laminated Composite Plate," National Institute of Technology Rourkela, 2009.
- S. Khodabakhshpour-Bariki, R.-A. Jafari-Talookolaei, M. Attar, and A. Eyvazian, "Free vibration analysis of composite curved beams with stepped cross-section," *Structures*, vol. 33, pp. 4828–4842, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.041>.
- B. Beylergil, M. Tanoğlu, and E. Aktaş, "Mode-I fracture toughness of carbon fiber/epoxy composites interleaved by aramid nonwoven veils," *Steel Compos. Struct.*, vol. 31, pp. 113–123, Apr. 2019, doi: [10.12989/scs.2019.31.2.113](https://doi.org/10.12989/scs.2019.31.2.113).



Dynamic Optimal ANFIS Parameters Tuning with Particle Swarm Optimization

Mahmut Dirik^{1*}, Mehmet Gül²

^{1*} Şırnak University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Şırnak, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1718-5075), mhmd.dirik@gmail.com

² Şırnak University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Şırnak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4819-4743), gul.mehmet.21@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012888)

ATIF/REFERENCE: Dirik, M. & Gül, M. (2021). Dynamic Optimal ANFIS Parameters Tuning with Particle Swarm Optimization. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1083-1092.

Abstract

This paper presents dynamic modification parameters of the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. In the proposed ANFIS_PSO, each particle dynamically adjusts its weight to the optimal states of the particles using a nonlinear fuzzy model. Tests of the model were performed using the "Signal-Time Series". The methods are tested simultaneously until the best method to solve the problem is found. The proposed model takes advantage of PSO to tune ANFIS parameters by minimizing mean square error (MSE), root mean square error (RMSE), R-Squared (R²) and Mean Absolute Error (MEA) metrics. The main contribution is a strategy for dynamically finding the best result, which identifies methods for solving a given problem using different performance metrics depending on the problem. The proposed structure's results were compared with several machine learning algorithms. Simulation results show the effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System; Parameter estimation; Particle Swarm Optimization; Intelligent control.

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile Dinamik Optimal ANFIS Parametrelerinin Uyarlaması

Öz

Bu çalışmada, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanarak Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) dinamik modifikasyon parametreleri işlenmiştir. Önerilen ANFIS_PSO'da, her parçacık, doğrusal olmayan bir bulanık model kullanarak ağırlığını parçacıkların optimal durumlarına dinamik olarak ayarlanır. Modelin testleri "Signal-Time Series" kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemler, sorunu çözmek için en iyi yöntem bulunana kadar aynı anda test edilir. Önerilen model, ortalama kare hata (MSE), R², Ortalama Mutlak Hata (MEA) ve kök ortalama kare hata (RMSE) ölçümlerini en aza indirerek ANFIS parametrelerini ayarlamak için PSO'dan yararlanır. Çalışmanın esas katkısı, soruna bağlı olarak farklı performans ölçütlerini kullanarak belirli bir sorunu çözüme yöntemlerini tanımlayan en iyi sonucu dinamik olarak bulmaya yönelik bir stratejinin geliştirilmesidir. Önerilen yapının sonuçları, çeşitli makine öğrenme algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen algoritmanın etkiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi; Parametre tahmini; Parçacık Sürü Optimizasyonu; Akıllı kontrol.

* Corresponding Author: mhmd.dirik@gmail.com

1. Introduction

In recent years, successful results have been obtained in solving various problems using intelligent systems developed as alternatives to traditional methods. Application methods such as fuzzy logic and neural networks have been used as complementary tools and have contributed to the development of intelligent systems (Basser et al. 2015; Hodzic 2016; Rini, Shamsuddin, and Yuhaniz 2016; Shamshirband et al. 2019). Fuzzy logic is a powerful and easy to design method that is created by applying expert knowledge about inference rules without requiring model knowledge (Guillaume 2001). The fuzzy inference system mainly consists of three conceptual components: the rule base, which consists of the sum of fuzzy rules, the database, which is used to define the degrees of membership, and the inference mechanism, which is used to collect rules from the inputs and outputs of the system and produce corresponding results (Hodzic 2016)(Sada and Ikpeseni 2021). The superiority of artificial neural networks over demand forecasting methods was first demonstrated in (Zhang, Eddy Patuwo, and Y. Hu 1998). An evaluation study conducted in early 2000 by Zhang et al (Zhang, Eddy Patuwo, and Y. Hu 1998) addressed 23 problems. The study found that ANN is quite successful compared to traditional demand forecasting methods. The reason for this is that, compared to statistical models, the ANN method does not require a functional structure that defines the relationships of decision makers between variables. Thus, although ANN does not require assumptions, it has the ability to learn the relationship between variables. While performing linear regression analysis, assumptions such as the absence of correlation between independent variables, the occurrence of estimation errors independently of each trial, and the distribution of errors with constant variance and mean should be made. On the other hand, in ANN the superiority of eliminating the ambiguity between variables, not requiring assumptions and learning the relationships of the model is recognized.

The Artificial Intelligence (AI) method is known for its flexible structure and its ability to produce extremely success-oriented results in nonlinear systems. When properly trained, it achieves results with high accuracy using the methods of interpolation and extrapolation of random data. With this approach, AI functions like a black box. Adaptive Network Based Fuzzy Inference System method is a hybrid method that consists of the combination of the above two powerful methods. While ANFIS is mainly used for task estimation or estimation of nonlinear functions with an output, the main purpose of this method is to optimize the parameters used. Objects may not belong to any particular class, as it can observe in many real-life events. The approach of classification by assigning degrees of membership to objects that do not belong was first proposed by Zadeh (Zadeh 1994). Adaptive Network-based Fuzzy Inference System (ANFIS) classification is an artificial neural network based method, which is particularly used to solve pattern recognition problems that require rule-based process control (Sada and Ikpeseni 2021). These approaches are obtained after training fuzzy inference rules with artificial neural networks, which even experts in the field have difficulty in drawing conclusions (Kundapura and Hegde 2021; Yaseen et al. 2019). The proposed method presents dynamic modification parameters of the ANFIS using the PSO algorithm. the ANFIS_PSO dynamically adjusts its weight to the optimal states of the particles using a nonlinear fuzzy model. The proposed model takes

advantage of PSO to tune ANFIS parameters by minimizing mean square error (MSE) and root means square error (RMSE) metrics. The general architectural structure of the proposed system is shown in Fig. 1.

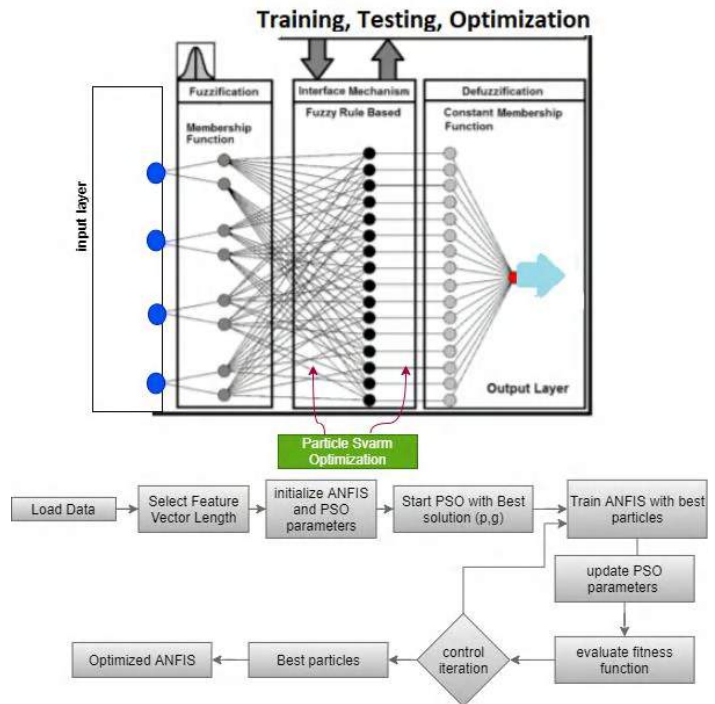


Fig. 1. Flow chart of the proposed ANFIS+PSO

The remainder of this paper proceeds to organize as follows: Section 2 summarizes the materials and methods. This section covers the basic concepts of a standard PSO and ANFIS structure. Section 3 illustrates in detail the methodology of the proposed algorithm integration and structure. The analyses and the corresponding results presented in Section 4. Finally, in Section 5, general considerations and other proposals for the future were proposed.

2. Material and Method

2.1. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis)

The ANFIS architecture consists of 6 layers; the first layer is used for data inputs. While the incoming data is fuzzy in the second layer, the fuzzy data is processed according to a specific rule defined in the third layer. The fourth layer is defined as normalization layer while the fifth layer is defined as defuzzification layer. In the sixth and final layer, the values from the previous layer are collected and given as the actual output value to the ANFIS system (El-Hasnony, Barakat, and Mostafa 2020). It includes a pilot zone and four separate zone to support a typical workflow in the ANFIS design window. In the design window, tasks such as loading and cleaning data, creating or loading the initial FIS structure, FIS training, and validating the trained FIS are performed. Figure 2 shows the ANFIS architecture.

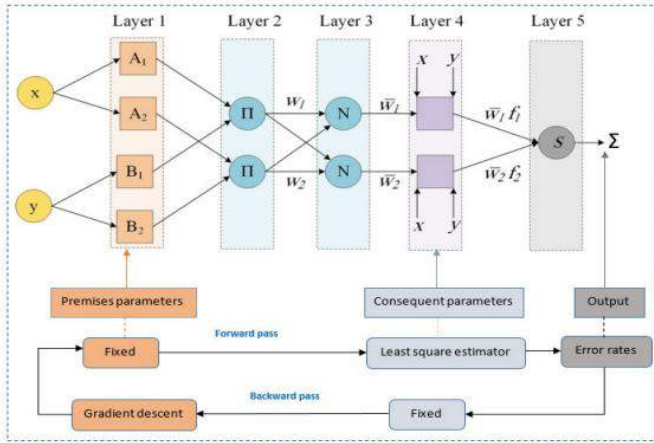


Fig. 2 ANFIS architecture [11]

Layer 1: The first layer of the architecture is defined as the input layer and the input signals from each node in this layer are forwarded to the other layers. Layer 2: It is also known as fuzziness layer because the data from the first layer is fuzzy. The output of each node in the fuzzification layer consists of membership degrees depending on the input values and the membership functions used. The membership degrees obtained from the 2nd layer are defined as $\mu_{A_j}(x)$ and $\mu_{B_j}(y)$. Layer 3: defined as the rule layer. Each node is re-evaluated according to the rules created using the Sugeno fuzzy logic inference system. The output of each rule node μ_i is obtained by multiplying the membership degrees from the 2. The μ_i values are ($j=1, 2$) and ($i = 1, \dots, n$).

$$y_i^3 = \Pi_i = \mu_{A_j}(x) \times \mu_{B_i}(y) = \mu_i \quad (1)$$

The value y_i^3 represents the output values of the 3rd layer and n represents the number of nodes in this layer. Layer 4: In this layer, defined as the normalization layer, the firing level is calculated by accepting the input value of all nodes sent by the rule layer and normalizing each rule. Calculation of the normalized firing using Eq. 2.

$$y_i^4 = N_i = \frac{\mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \bar{\mu}_i, \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2)$$

Layer 5: The weighted output values of a given rule are computed for each node in this layer, which is defined as the purification layer. Output value of node i in layer 5 using Eq. 3.

$$y_i^5 = \bar{\mu}_i [p_i x_i + q_i x_2 + r_i], \quad (i = 1, \dots, n) \quad (3)$$

Layer 6: The last level layer, defined as the sum layer, has only one node and each node is labeled with Σ . The output value

of each node in layer 5 is summed. The output value is determined as the actual value of the ANFIS system. Equation 4 is used to calculate the output value y of the system.

$$y = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i [p_i x_i + q_i x_2 + r_i] \quad (4)$$

2.2. Particle Swarm Optimization (PSO)

Animal herds in nature have unique structures with scattered structures that interact with each other. In herds, each individual exhibits a specific purposeful behavior. The task that each individual in the herd undertakes to achieve the goal reveals the tendency to act collectively. Collective intelligence, viewed from the outside, results from the actions that individuals repeat among themselves. Each member of the herd intuitively applies simple rules to the product of the collective intelligence of his actions. Thus the herd eventually achieves its goal.

Community in itself leads to self-organization in a sense in all group activities. When each individual, which we can call a representative or particle, performs an action, it calculates the fitness value of its position separately from the other individuals of the herd. It is important that the individual computes its position, keeps track of the speed at which it is progressing in each dimension of the solution set, the optimal fitness value it has achieved so far, the best positions to its neighbors, and finally the position at which it can catch up with this value. Only in this case can the herd reach the goal (Blum, National, and Li 2008). As a population-based probabilistic optimization method, the PSO technique is generally used to solve multivariate optimization problems.

The system starts by generating random solutions and then searches for the optimal solution by updating the generations of the populations. Unlike classical optimization techniques, this technique does not require any inferred knowledge. This has the advantage of minimizing the complex and difficult operations involved in solving many optimization problems. On the other hand, the fact that the number of parameters is smaller compared to many classical optimization methods makes the method easier to use (Ozkaya and Seyfi, 2018). The PSO formula is in Eq. 5

$$V_{id} = W * V_{id} + c_1 * rand_1 * (P_{id} - X_{id}) + c_2 * rand_2 * (P_{gd} - X_{id}) \quad (5)$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \quad (6)$$

V_{id} indicates the position value of the particle and V_{id} indicates the velocity values of the particle, while the values $rand_1$ and $rand_2$ are randomly derived numbers. W is the inertia weight value and c_1 and c_2 are the scaling factors.

Table 1. Basic PSO parameters

Parameters	Descriptions
Number of particles (swarm size; n)	Generally a value between 20-40 is taken.
Size of particles (d)	This parameter indicates the number of variables in the problem.
Learning factors	$c1$ and $c2$ in the formula stand for learning factors. The use of two learning factors contributes to generally good results.
Termination condition (termination criteria)	Adding a criterion to the algorithm that indicates at which point in the process of finding a solution it should stop
Number of iterations	Achieving the optimal solution in solving the problem depends on the number of iterations.
Particle Distance	The optimal result in solving the problem is achieved by identifying particles of different sizes and distances.
V_{max}	Determines the maximum velocity of the particles as a result of iteration in the process of solving the problem.

Particle swarm optimization is an optimization method first developed by Kenedy and Eberhart in 1995, inspired by fish and insects that move in swarms (James Kennedy and Russell Eberhart 1995). Basically, the algorithm based on herd intelligence allows animals moving in a herd to more easily achieve their goals in situations such as food and safety, which they often show randomly. In the PSO method, the exchange of information between individuals is crucial. The swarm is made up of individuals, in other words, particles. Each particle in the swarm adjusts its position according to the best position, using its previous experience. The positions of the particles in the swarm, which are fundamental in PSO, are based on the approach of the swarm to the individual with the best position. The rate of approach of each particle in the swarm is a random situation, and most of the time the individuals in the swarm are in a better position in their new movements. This process is an ongoing process until the goal is reached (James Kennedy and Russell Eberhart 1995). Fig. 3 shows the flow chart of particle swarm optimization.

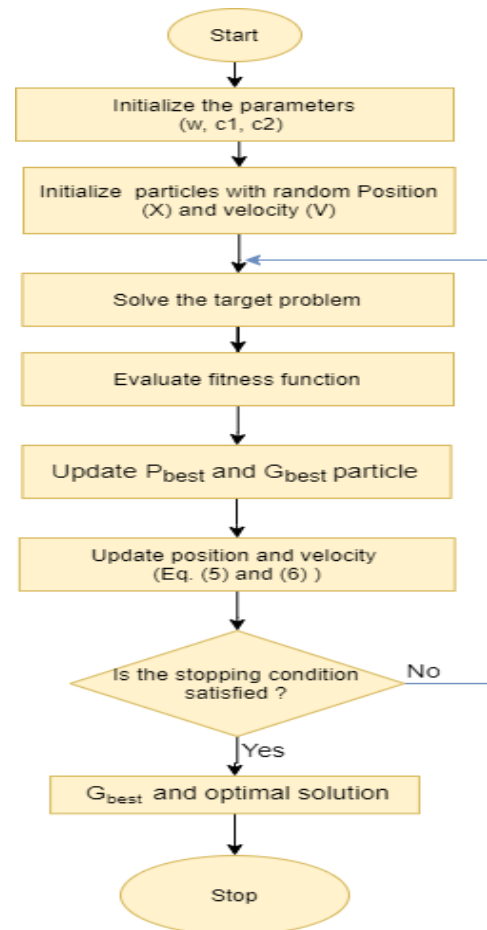


Fig. 3. Flowchart of particle swarm optimization

The algorithm essentially consists of the following steps;

- (i) Randomly generated starting positions and velocities form the initial swarm
- (ii) The degree of fulfilment of all particles in the swarm is computed
- (iii) For each particle, the best (pbest) from the current generation to the ground is found. The number of bests in the swarm is equal to the number of particles.

iv) The global best (gbest) is selected among the best of the current generation.

v) The positions and velocities are renewed as follows.

Steps 2,...,5 are repeated until the termination criterion is met.

In the PSO method, particles are adaptively directed to the most meaningful region in the search space by using the social interaction of the individuals in the swarm, i.e., the particles themselves. Initially, a swarm of particles is started with a random solution and updates are used to try to find an optimal solution. In each iteration, the position of the particles is updated relative to the two best particles. The particle with the best fitness value so far is called the local best (pbest) and its information should be stored in memory. The other particle is the particle that provides the best fitness value of all particles in the swarm and is called the global best (gbest). The particle matrix of the population looks as follows.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & \dots & P_{1D} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & \dots & P_{2D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & \dots & P_{ND} \end{bmatrix}_{N \times D}$$

In the above matrix, particle i is given as $P_i = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iD}]$, while in previous iterations, the position of particle i that gives the best fitness value is $P_{ye} = [P_{ye_{i1}}, P_{ye_{i2}}, \dots, P_{ye_{iD}}]$. The position of the i th particle is renamed to the name of the local best particle. Gbest is unique for all particles in the repetition, and the velocity of the particle is called $V_i = [V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{iD}]$. After the value of the two best particles in the swarm is determined, the velocities and positions of the particles are updated according to Equations 7 and 8 below.

$$V_i^{k+1} = V_i^k + c_1 r_1^k (p_{ye_i}^k - p_i^k) + c_2 r_2^k (g_{best}^k - p_i^k) \quad (7)$$

$$p_i^{k+1} = p_i^k + V_i^{k+1} \quad (8)$$

The values c_1 and c_2 in the 4th equation are the learning factors as well as constants expressing the acceleration terms

pulling each particle towards its local best (pbest) and the best of the swarm (gbest). c_1 allows the particle to move according to its own experience, while c_2 allows the particle to move according to the experience of the other particles in the swarm. Choosing lower values allows particles to move far away from the target area before being pulled in its direction. This may lengthen the time it takes the herd to reach the goal. On the other hand, if the values are high, the herd may reach the goal sooner, and in this case unexpected movements are inevitable. Skipping the target area can be given as an example. The numbers r_1 and r_2 in the equations are random numbers with a uniform distribution between 0 and 1. K indicates the number of iterations. Each row in the matrix is called a particle and each particle has its own solution. For n particles, n solutions are obtained and the particles move in the research space according to two important parameters. Before each repetition, the best solution of the individual pbest and the best solution of the herd gbest are determined. In this case, n pbest and gbest values are determined. In the initial phase, the position and velocity values of each particle in the swarm are available. With each iteration, the particles get a little closer to the optimal solution.

3. The Proposed Methodology

The structure shown in Fig.1 represents the general structure of the proposed system. In this structure, PSO was used to adapt the parameters of the ANFIS model. ANFIS training is a classical hybrid optimization algorithm consisting of a combination of two algorithms, least squares and gradient descent. In this traditional hybrid method, gradient descent is used as a means of backpropagation to change membership settings, while least squares error is supported to change parameters in forward transmission. The proposed method, which is more flexible and faster than gradient-based approaches, can be used to improve ANFIS parameters in terms of discovery and exploitation capacities. The position of each particle in the PSO reflects a complete set of parameters for the ANFIS system. Due to the computational effort required for the fitting process, the total number of modifiable ANFIS parameters is an important factor in ANFIS networking. The overall operating cycle of the proposed system is shown in Fig. 4.

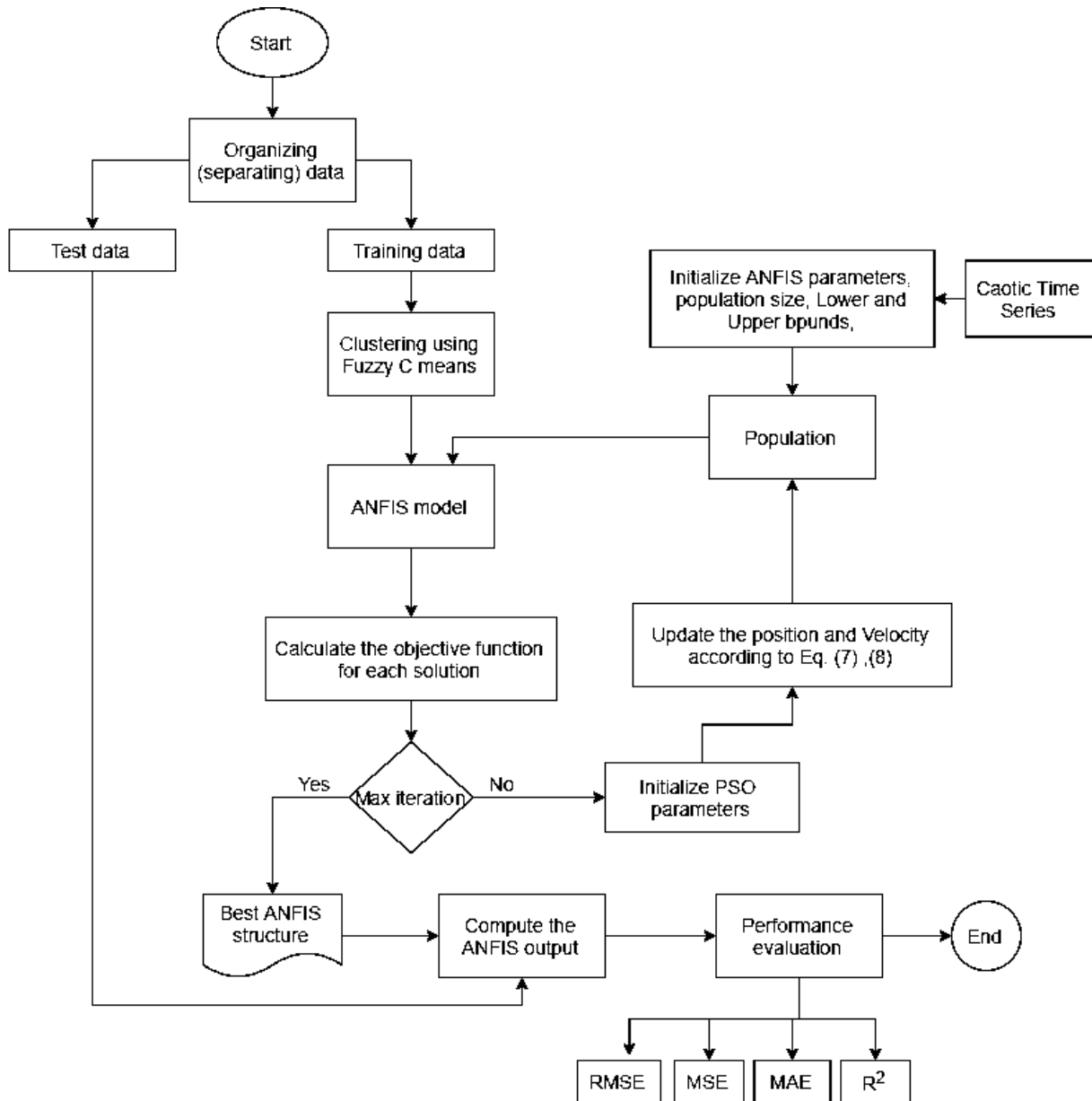


Fig. 4 The Proposed ANFIS with PSO algorithm

The model starts by splitting the data into training and testing data. In order to maintain the appropriate diversity of the population and improve the global search capacity, the basic properties of chaotic motions such as randomness and regularity are effective so that the algorithms do not fall into the problem of local optimum. It is necessary and important to calculate the accuracy of the system with the training and testing data of the data.

4. Results and Discussion

The prediction of chaotic time series was estimated using a ANFIS-PSO approach. Matlab software was used to build our model. In this analysis, several performance measures were used to control for ANFIS-PSO effectiveness. The results of mean square error (MSE), root mean square error (RMSE), R-Squared (R^2) and Mean Absolute Error (MAE) were obtained to demonstrate the effectiveness of the proposed method ANFIS-PSO and to verify the efficiency of the solutions' performance. The metrics MSE, MAE, RMSE and R-squared are mainly used to evaluate the prediction error rates and model performance in

regression analysis. MAE is used to indicate the difference between the original and predicted values obtained by averaging the absolute difference over the data set. MSE is used to indicate the difference between the original and predicted values obtained by squaring the mean difference over the data set. The error rate obtained from the square root of the MSE is the RMSE. The formula R-squared (coefficient of determination) shows how well the values agree with the original values. A value between 0 and 1 is interpreted as a percentage. The higher the value, the better the model. The formulas used are given below (Eq. 9-12).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y})^2 \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y})^2} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}| \quad (11)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (12)$$

Where n data points denotes, \hat{y} denotes the predicted values of \bar{y} denotes the mean values of y .

In this experiment, ANFIS-PSO was compared to many machine learning algorithms. For all experiments, the dataset was split into 50% for training and the rest for testing. The parameters of all optimization algorithms are: Population size (n) = 80, maximum iteration = 1200, lower bound = -10, upper bound = 10. In this experiment, four metrics, namely, root mean square error

(RMSE), R-Squared (R2), Mean Absolute Error (MEA), and mean square error (MSE) were used to optimize the ANFIS parameters to evaluate the proposed ANFIS+PSO model. The tests were performed 10 times and all measurements are shown as average values in Table 6 and Figure 8, respectively. From these tables, we can see that ANFIS-PSO outperforms the other algorithms. This experiment proves the success of our proposal and can be used to improve the parameter optimization process of ANFIS.

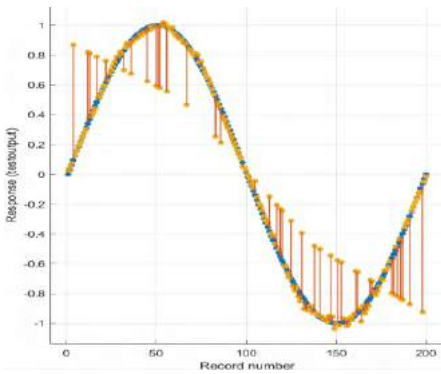
Table 2. Parameter Setting

Algorithm	Parameters	Values
ANFIS	Error goal	0
	Initial step	0,015
	Maximum epochs	100
ANFIS+PSO	C1	1
	C2	2
	Vmax	0,9
	Vmin	0,2
	W	1
	Wdamp	0.99
	maxit	1200
	npop	80

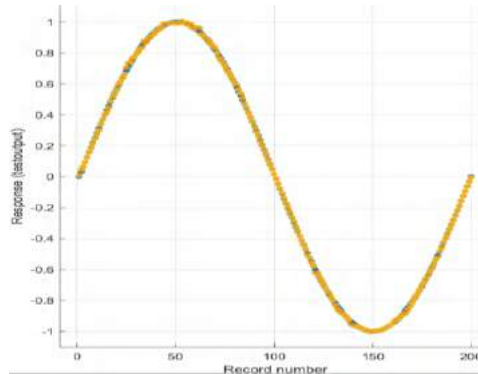
Table 3. The experimental results of MSE, MAE, RMSE and R2 using different algorithms

Algorithms		Training	Testing
Narrow Neural Network	RMSE	0.03085	0.17219
	R2	1.00	0.94
	MSE	0.00095171	0.029651
	MAE	0.02045	0.081603
Medium Neural Network	RMSE	0.0057177	0.0066921
	R2	1.00	1.00
	MSE	3.2692e-05	4.4784e-05
	MAE	0.0042401	0.0048332
Wide Neural Network	RMSE	0.0017565	0.0017477
	R2	1.00	1.00
	MSE	3.0851e-06	3.0545e-06
	MAE	0.0012522	0.0011796
Bilayered Neural Network	RMSE	0.11326	0.014002
	R2	0.97	1.00
	MSE	0.012828	0.00019607
	MAE	0.035032	0.01036
Trilayered Neural Network	RMSE	0.027383	0.086437
	R2	1.00	0.99
	MSE	0.00074983	0.0074713
	MAE	0.013395	0.023972
Linear SVM	RMSE	0.47997	0.46067
	R2	0.54	0.58
	MSE	0.23037	0.21221
	MAE	0.40933	0.39193
Quadratic SVM	RMSE	0.49914	0.4649
	R2	0.50	0.57

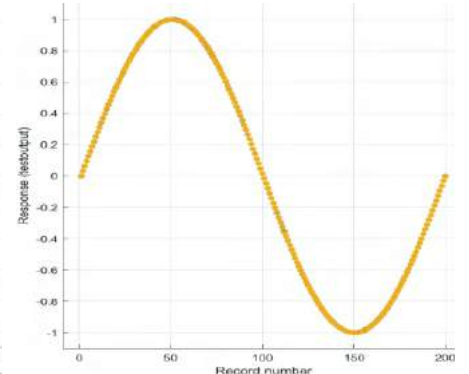
	MSE	0.24914	0.21613
	MAE	0.41771	0.39577
	RMSE	0.074091	0.076584
<i>Cubic SVM</i>	R2	0.99	0.99
	MSE	0.0054895	0.0058652
	MAE	0.066766	0.068535
<i>Fine Gaussian SVM</i>	RMSE	0.095271	0.094911
	R2	0.98	0.98
	MSE	0.0090765	0.0090082
<i>Medium Gaussian SVM</i>	MAE	0.091844	0.09153
	RMSE	0.075573	0.075522
	R2	0.99	0.99
<i>Coarse Gaussian SVM</i>	MSE	0.0057113	0.0057035
	MAE	0.068611	0.068688
	RMSE	0.42828	0.408
<i>ANFIS_PSO</i>	R2	0.63	0.67
	MSE	0.18343	0.16646
	MAE	0.36588	0.35036
	RMSE	0.00020483	0.0002125
	R2	1.00	1.00
	MSE	4.1954e-08	4.5157e-08
	MAE	8.1915e-05	8.3767e-05



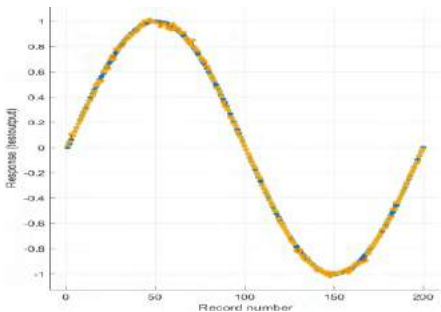
Narrow Neural Network



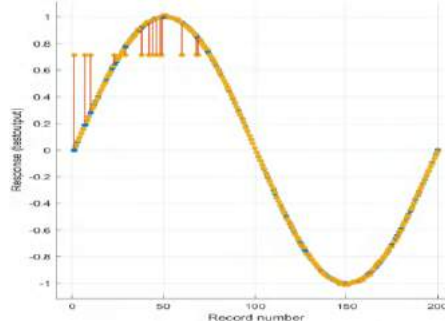
Medium Neural Network



Wide Neural Network



Bilayered Neural Network



Trilayered Neural Network

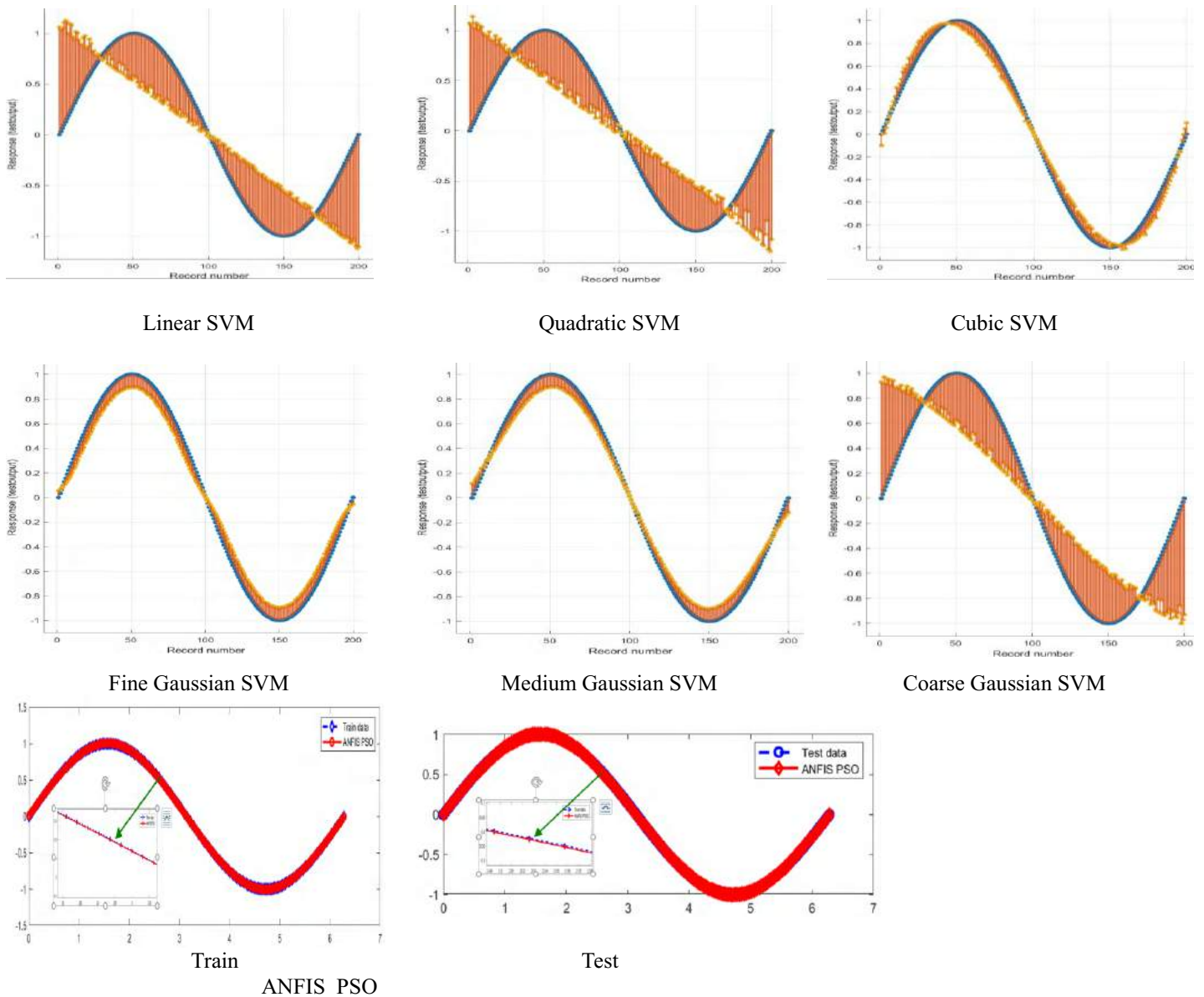


Fig. 5. Illustration of the experimental result for MSE, MAE, RMSE and R2 using different algorithms.

The response of data given above is illustrated in Fig. 5. The proposed model achieved the lowest error rate and the highest accuracy during the training and testing phase. Moreover, the results were compared with many machine learning algorithms. The results are presented using the performance values of the proposed model in terms of RMSE, R2, MEA, and MSE.

5. Conclusion and Future Work

This paper presents a model for using learning algorithms to obtain reliable decision support systems with time series data. ANFIS+PSO model is proposed to use time series feature prediction sets. Using PSO with ANFIS for feature selection and training the entire ANFIS structure provides optimal estimation. The proposed model has been evaluated against various metrics to confirm its effectiveness. The proposed model yielded good results compared to other algorithms. The proposed algorithm provides a way to improve the evolving structure of an ANFIS and achieve the goal of both higher accuracy and minimal computational overhead. The performance evaluation metrics of the proposed algorithm compared to other algorithms show the effectiveness of the proposed method. The proposed model will

be extended in the future by applying contemporary metaheuristic algorithms to a wider range of datasets for other machine learning algorithms.

References

- Basser, Hossein et al. 2015. "Hybrid ANFIS-PSO Approach for Predicting Optimum Parameters of a Protective Spur Dike." *Applied Soft Computing* 30: 642–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.02.011>.
- Blum, Christian, Spanish National, and Xiaodong Li. 2008. *Swarm Intelligence*.
- El-Hasnony, Ibrahim M., Sherif I. Barakat, and Reham R. Mostafa. 2020. "Optimized ANFIS Model Using Hybrid Metaheuristic Algorithms for Parkinson's Disease Prediction in IoT Environment." *IEEE Access* 8: 119252–70.
- Guillaume, S. 2001. "Designing Fuzzy Inference Systems from Data: An Interpretability-Oriented Review." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 9(3): 426–43.
- Hodjic, Adnan. 2016. "A Novel Approach for Face Recognition Based on ANN and ANFIS." (September 2015).

- James Kennedy and Russell Eberhart. 1995. "Particle Swarm Optimisation." Proc. of the IEEE Int. Conference on Neural Networks 4: 1942–48.
- Kundapura, Suman, and Arkal Vittal Hegde. 2021. "PSO-ANFIS Hybrid Approach for Prediction of Wave Reflection Coefficient for Semicircular Breakwater." *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 27(2): 135–43. <https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1525688>.
- Ozkaya, U., and Seyfi, L. 2018. "A comparative study on parameters of leaf-shaped patch antenna using hybrid artificial intelligence network model"s. *Neural Computing and Applications*, 29(8), 35-45.
- Rini, Dian Palupi, Siti Mariyam Shamsuddin, and Siti Sophiyati Yuhani. 2016. "Particle Swarm Optimization for ANFIS Interpretability and Accuracy." *Soft Computing* 20(1): 251–62. <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-014-1498-z>.
- Sada, S. O., and S. C. Ikpeseni. 2021. "Evaluation of ANN and ANFIS Modeling Ability in the Prediction of AISI 1050 Steel Machining Performance." *Heliyon* 7(2): e06136. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06136>.
- Shamshirband, Shahaboddin et al. 2019. "Developing an ANFIS-PSO Model to Predict Mercury Emissions in Combustion Flue Gases." *Mathematics* 7(10).
- Yaseen, Zaher Mundher et al. 2019. "Novel Hybrid Data-Intelligence Model for Forecasting Monthly Rainfall with Uncertainty Analysis." *Water* 2019, Vol. 11, Page 502 11(3): 502. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/3/502/htm> (October 6, 2021).
- Zadeh, L. A. 1994. "Soft Computing and Fuzzy Logic." *IEEE Software* 11(6): 48–56.
- Zhang, Guoqiang, B. Eddy Patuwo, and Michael Y. Hu. 1998. "Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art." *International Journal of Forecasting* 14(1): 35–62.



Mermi Hareketinin Modellenmesinde Kullanılan Noble-Abel ve İdeal Gaz Denklemlerinin Akış Alanına Etkisinin Nümerik İncelenmesi

Seyda Özbektaş¹, Bilal Sungur^{2*}

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7399-733X), seyda.ozbektas@omu.edu.tr

^{2*} Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7320-1490), bilal.sungur@samsun.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012916)

ATIF/REFERENCE: Özbektaş, S., Sungur, B. (2021). Mermi Hareketinin Modellenmesinde Kullanılan Noble-Abel ve İdeal Gaz Denklemlerinin Akış Alanına Etkisinin Nümerik İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1093-1101.

Öz

Gelişen malzeme ve üretim teknolojileri ile birlikte silahlar küçülmeye başlamış ve bu problem büyük oranda çözülmüştür. Ancak silahlardan temel olarak elde edilmek istenen yüksek yıkım etkisidir. Bu durum günümüzde halen en önemli problemlerden birisi olan geri tepme kuvvetini de beraberinde getirmekte ve incelenmesi gereken bir konu olarak güncelliğini sürdürmektedir. Bir ateşli silahta geri tepme kuvveti barutun yanmasına bağlı olarak ortaya çıkan gazın basıncından kaynaklanır. Bu anlamda ateşli silah namlusunda hareket eden bir merminin etrafındaki akış alanının tahmin edilmesi gerekir ki bu oldukça karmaşık bir iştir. Karmaşıklıklar, türbülans, karmaşık yüzey geometrisi, hesaplama alanındaki zaman değişikliği, sıkıştırılabilirlik ve gaz denklemleri gibi çok sayıda faktörün varlığından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma kapsamında yanma sonucu olan gazların davranışının modellenmesinde kullanılan Noble-Abel ve ideal gaz denklemlerinin, merminin akış alanı üzerindeki etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik modellemede Fluent paket programı kullanılmıştır. Hesaplamalar iki boyutlu, kararsız, sıkıştırılabilir, aksel simetrik şartlarda gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda mermi etrafında oluşan basınç dağılımı, namlu ekseninden farklı konum boyunca çizilmiş ve bu konumlarda farklı zaman değerleri için basınç değerleri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nümerik modelleme, Dinamik analiz, Mermi, Namlu, Akış alanı.

Numerical Investigation of the Effects of Noble-Abel and Ideal Gas Equations Used in the Modeling of Projectile Movement on the Flow Field

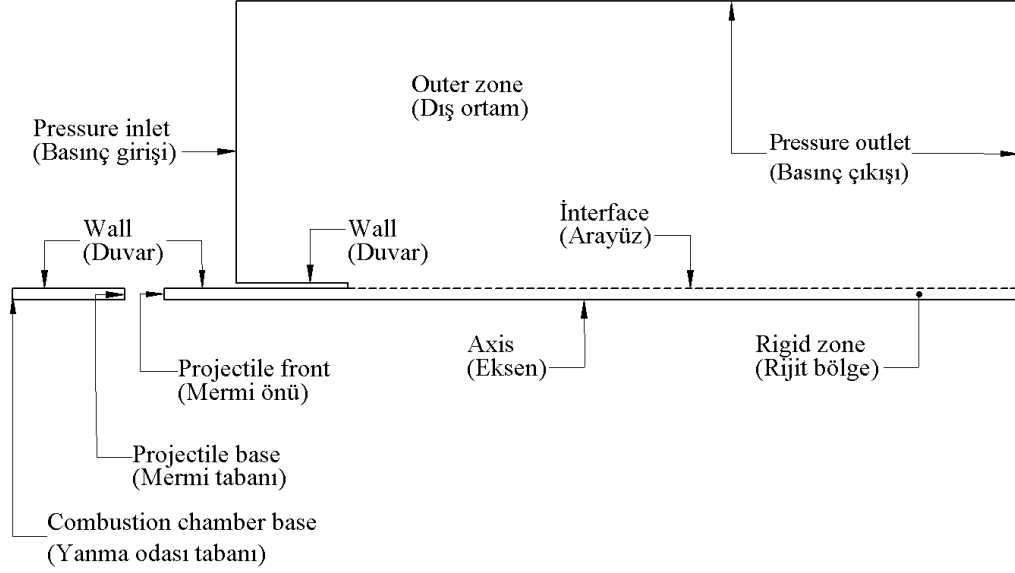
Abstract

With the developing materials and manufacturing technologies, the guns started to get smaller and this problem was solved to a large extent. However, what is basically desired to be obtained from the guns is the high destruction effect. This situation brings with it the recoil force, which is still one of the most important problems today, and continues to be a topic that needs to be examined. In a gun, the recoil force is due to the pressure of the gas that occurs due to the combustion of gunpowder. In this sense, it is necessary to estimate the flow field around a projectile moving in a firearm barrel, which is a very complex phenomena. The complexities are due to the presence of a large number of factors, such as turbulence, complex surface geometry, time change in the computational domain, compressibility, and gas equations. In this study, the effect of Noble-Abel and ideal gas equations, which are used in modelling the behaviour of combustion gases, on the flow field of the projectile was investigated numerically. Fluent program was used in numerical modelling. Calculations were carried out in two-dimensional, transient, compressible, axisymmetric conditions. As a result of the calculations, the pressure distribution around the projectile was drawn along a position different from the barrel axis, and pressure values were shown for different time values at these positions.

Keywords: Numerical modelling, Dynamic analysis, Projectile, Barrel, Flow region.

Oluşturulan modelde geometri, merminin hareket ettiği rijit bölge ve rijit bölgeyi çevreleyen dış ortam olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Dış ortamın basıncı 1 atm, sıcaklığı 300 K'dir. Mermiye ilk hareketi verecek olan yanma odasının basınç ve sıcaklık değerleri sırasıyla 3450 atm ve 2500 K olarak girilmiştir. Analizde kullanılan sınır koşulları Şekil 2'de verilmiştir. Fluent içinde çözücü tipi yoğunluğa-dayalı (Density-Based), zamana bağlı, iki boyutlu eksenal simetrik

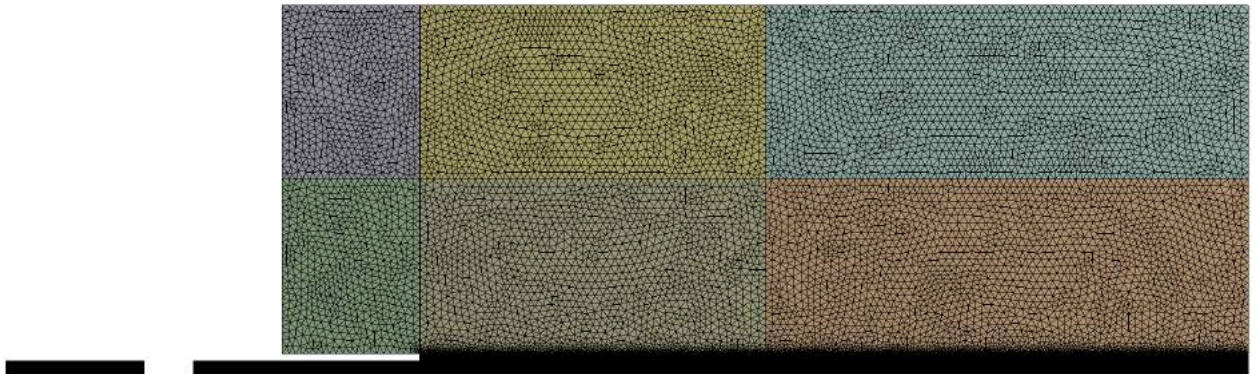
(Axisymmetric) olarak seçilmiştir. Türbülanslı akışı modellemek için Spalart-Allmaras türbülans modeli kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan hava için yoğunluk ideal gaz olarak belirlenmiştir. Çözüm metodları bölümünde analiz için Implicit Formulation, akış tipi olarak Advection Upstream Splitting Method (AUSM) seçilmiştir. Zaman adımı büyüklüğü 10^{-7} s girilip, yakınsama kriteri 10^{-3} olana kadar iterasyonlar sürdürülmüştür.



Şekil 2. Hesaplama bölgesi ve sınır şartları

Namlu boyunca hareket eden bir mermi modellenirken oluşturulan geometrideki sınır koşulları zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu durumda kararsız akışı modellemek için hareketli sınıra sahip dinamik mesh yapısı kullanılmıştır. Mermiye lineer bir yol izlemesi nedeniyle dinamik mesh işlemi için katmanlama (Layering) metodu seçilmiştir. Mermiye serbestçe hareket edebilmesi için Altı Serbestlik Derecesi (Six-DOF) aktif edilmiştir. Mermi ve hareket ettiği akışkan için katı cisim hareketi (Rigid Body) tanımlanmıştır. Yeni hücre katmanlarının ekleneceği yanma odası tabanı ve eski hücre katmanlarının çıkarılacağı rijit bölge çıkışı, sabit bölge

(Stationary) olarak tanımlanmıştır. Mesh işlemi sırasında rijit bölgede dörtgensel (Quadrilateral), dış ortamda üçgensel (Triangle) elemanlar kullanılmıştır. İşlem süresinden tasarruf edebilmek amacıyla dış ortama rijit bölgeye kıyasla daha kaba mesh uygulanmıştır. Oluşturulan bu mesh yapısı 59910 noktadan ve 68681 eleman sayısından oluşmaktadır. İyi bir mesh yapısı için eleman kalitesinin (Element Quality) 1, çarpıklığın (Skewness) 0, ortogonal kalitenin (Orthogonal Quality) 1 değerlerine yakın olması istenir. Bu çalışmada ortalama eleman kalitesi, çarpıklık ve ortogonal kalite sırasıyla 0.98, 0.02 ve 0.98 elde edilmiştir. Ağ yapısının görünümü Şekil 3'te verilmiştir.



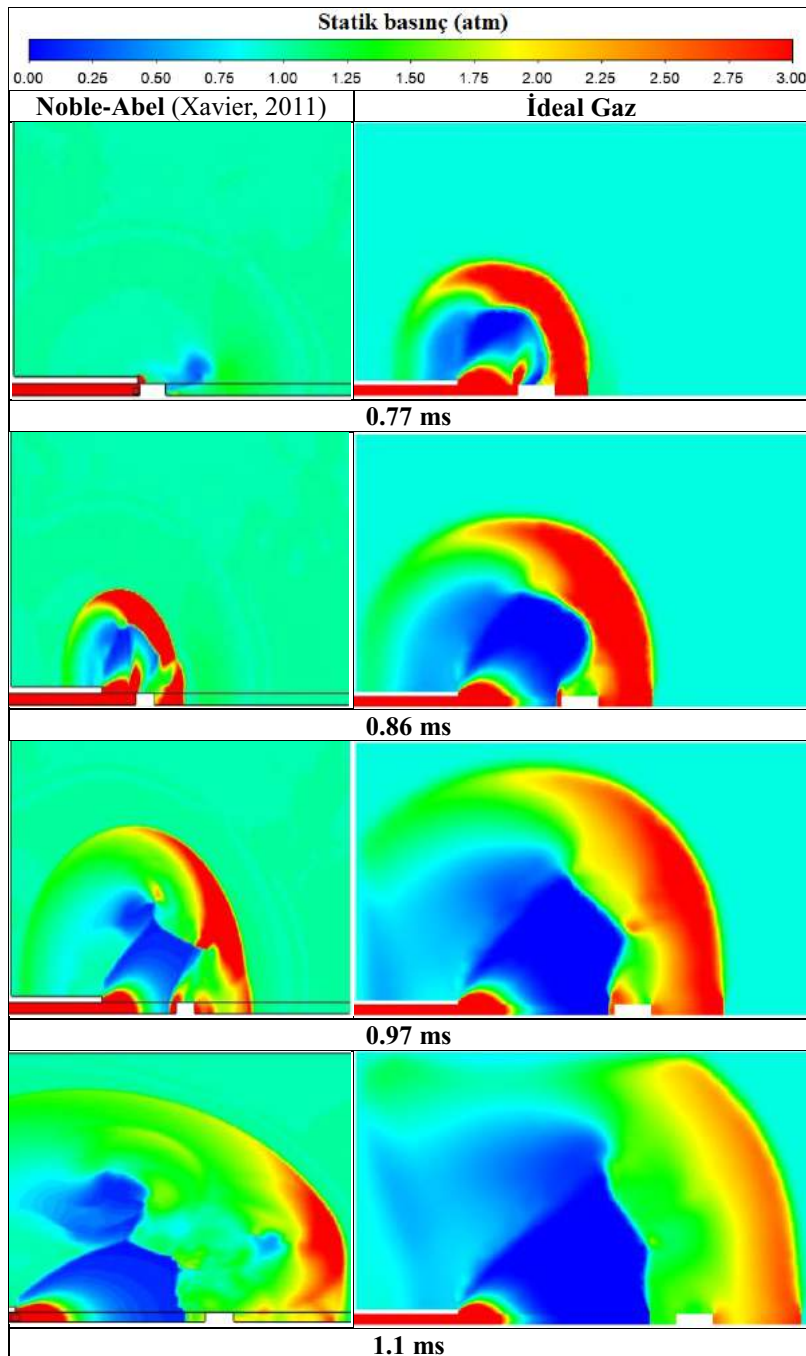
Şekil 3. Ağ yapısı genel görünümü

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Silah ateşleme işleminde, merminin arkasında bulunan yüksek basınçlı itici gaz mermiyi ileri doğru hareket ettirir. Merminin önündeki hava, hareketli mermi tarafından sürekli olarak sıkıştırılır, bu da bir dizi sıkıştırma dalgasının oluşmasına neden olur. Sonraki her sıkıştırma dalgasının hızı, mermi ivmesi nedeniyle öncekinden daha hızlıdır. Farklı zamanlarda (0.77 ms, 0.86 ms, 0.97 ms, 1.1 ms) merminin Noble-Abel ve ideal gaz modellerinden elde edilen basınç konturları Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi akış alanının hacmi, şok dalgalarının namludan genişlemesi nedeniyle sürekli olarak artmaktadır. Merminin arkasındaki basınç değeri daha önce belirtildiği gibi 3450 atm'dir ve mermi namlunun aşağısına doğru hareket ettikçe bu değer azalmaktadır. Namlu içindeki konturun rengi kırmızı olsa da, aslında namlu iç kısmında basınç

azalmakta ve ortamdaki basınç değeri artmaktadır. Noble-Abel denklemi kullanılarak yapılan çözümde merminin diğer denklemlere göre daha yavaş ilerlediği görülmektedir. Artan zamanla birlikte (özellikle 0.77 ms'den sonra) ideal gaz denkleminde elde edilen görüntülerin Noble-Abel denkleminde elde edilen sonuçlara benzer olduğu görülmektedir. İdeal gaz denklemi kullanılarak elde edilen sonuçlarda akış alanının Noble-Abel durumuna kıyasla daha yüksek olmaktadır.

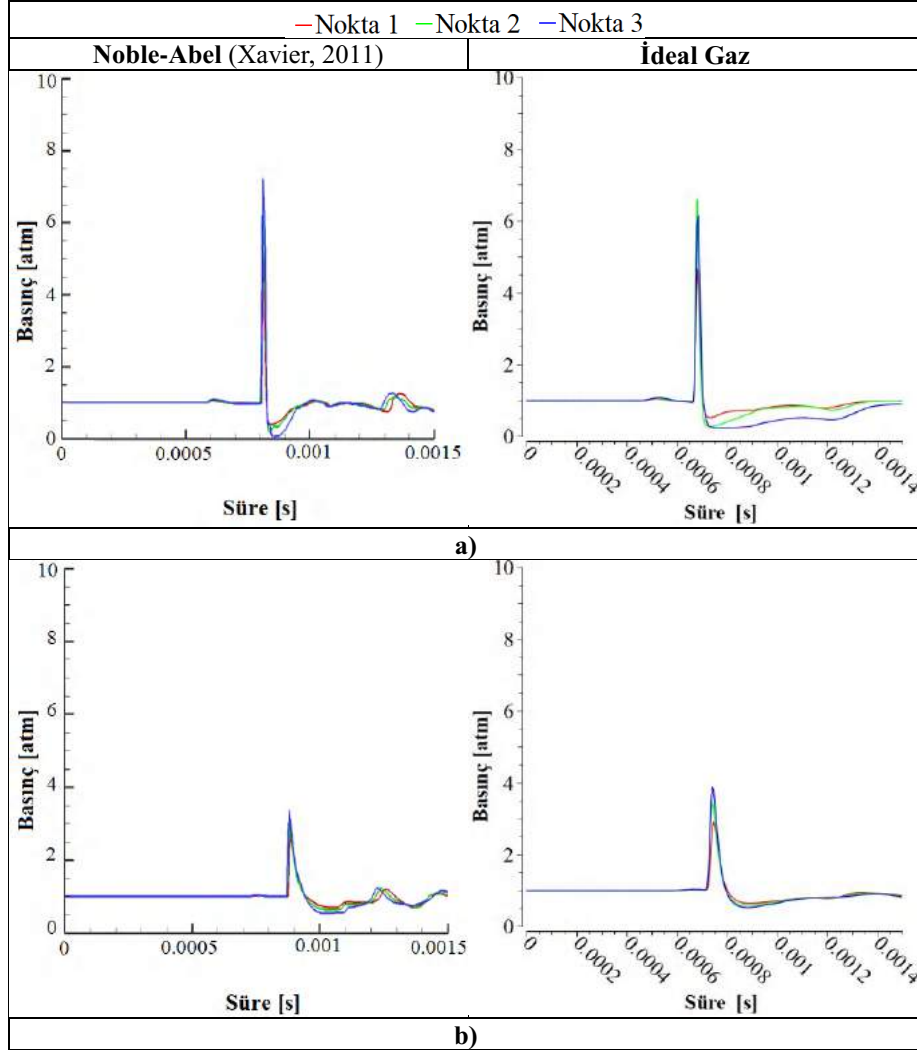
Noble-Abel ve ideal gaz modellerinden elde edilen zamana bağlı basınç değişimlerinin daha iyi yorumlanabilmesi ve kıyaslama yapılabilmesi amacıyla, $y=0.05$ m ve $y=0.1$ m doğrusu üzerindeki üç farklı noktadan (Nokta 1: $x=0.30$ m, Nokta 2: $x=0.31$ m, Nokta 3: $x=0.32$ m) elde edilen basınç değerleri Şekil 5'te verilmiştir.



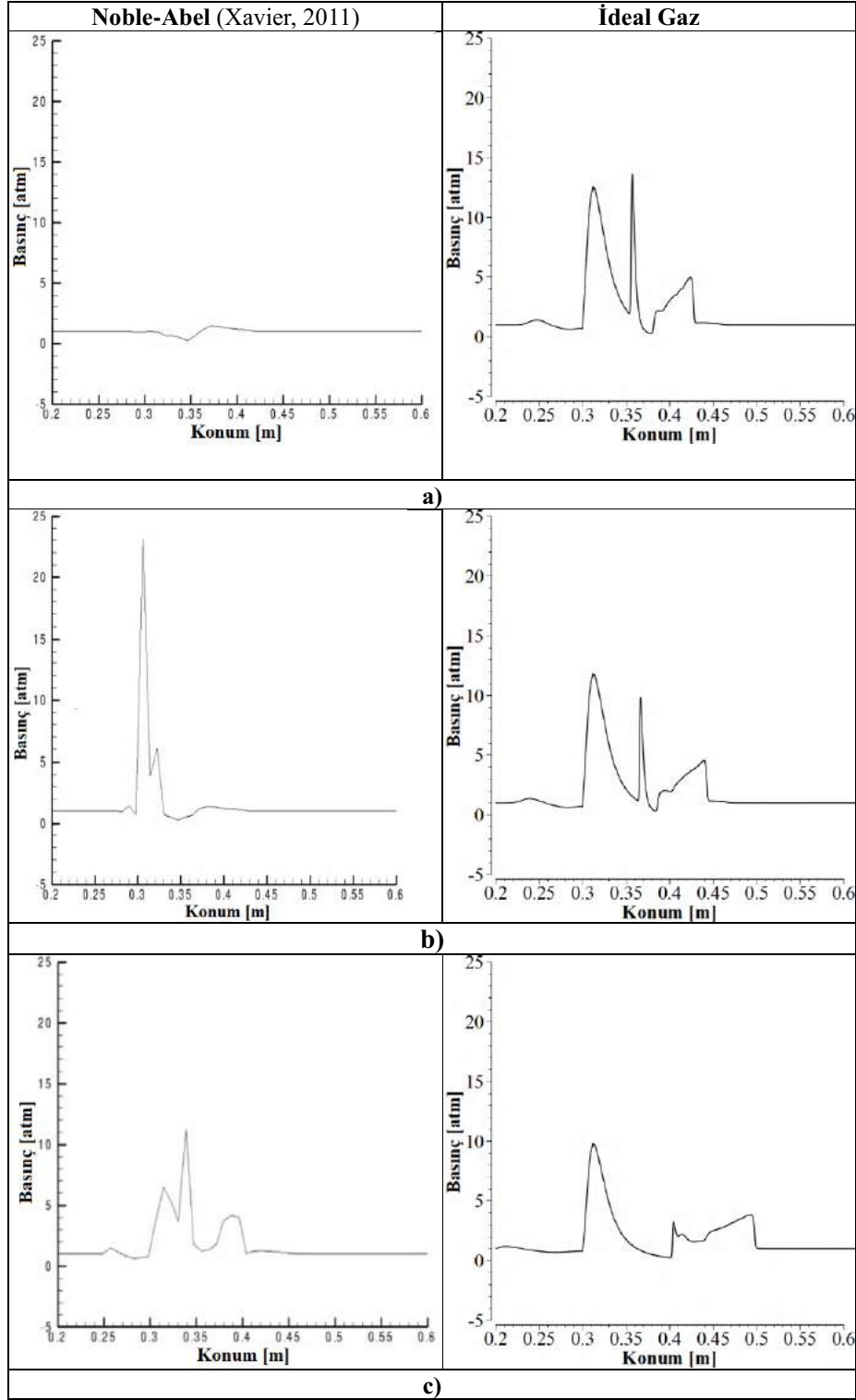
Şekil 4. Noble-Abel ve ideal gaz durumlarında elde edilen basınç konturları

Şekil 5 incelendiğinde her iki denklemde benzer trendlerin oluştuğu görülmektedir. $y=0.05$ m pozisyonunda Noble-Abel denklemi ile yapılan çözümden elde edilen pik basınç değerinin ideal gaz durumuna kıyasla daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca $y=0.05$ m durumunda namluya daha yakın olan Nokta 1 pozisyonundaki basınç değerinin Nokta 3 pozisyonuna göre nispeten daha yüksek basınç değerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, $y=0.1$ m pozisyonunda namludan uzaklaştıkça (Nokta 1'den Nokta 3'e doğru) basınç değerleri arasında belirgin bir fark görülememektedir.

Şekil 6'da farklı zamanlarda $y=0.015$ doğrusu boyunca gaz modellerindeki konuma bağlı basınç değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde 0.77 ms süresinde Noble-Abel gaz denklemi ile elde edilen sonuçlarla ideal gaz denklemi ile elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum sağlanmadığı görülmektedir. Ancak artan zamanla birlikte Noble-Abel ve ideal gaz denklemleri sonuçlarının birbirine yaklaştığı ve özellikle 0.87 ms süresinde oldukça benzer sonuçlar verdikleri görülmektedir.



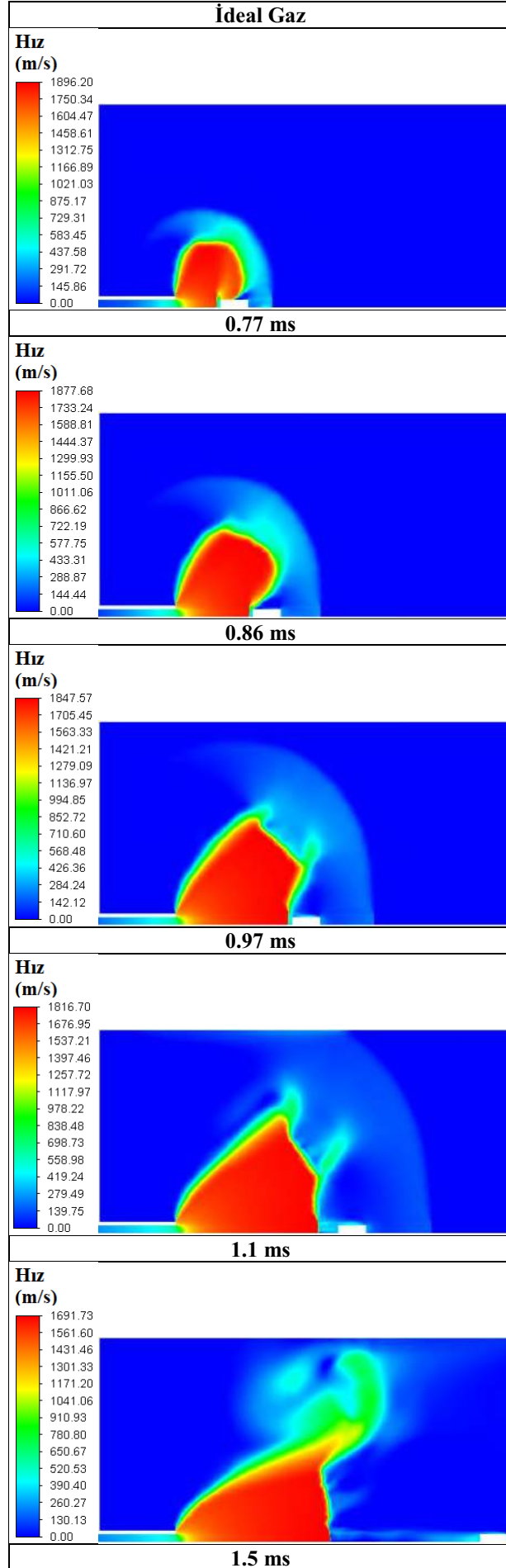
Şekil 5. a) $y=0.05$ m ve b) $y=0.1$ m doğrusu üzerindeki üç farklı nokta (Nokta 1: $x=0.30$ m, Nokta 2: $x=0.31$ m, Nokta 3: $x=0.32$ m) için Noble-Abel ve ideal gaz modellerindeki zamana bağlı basınç değişimleri



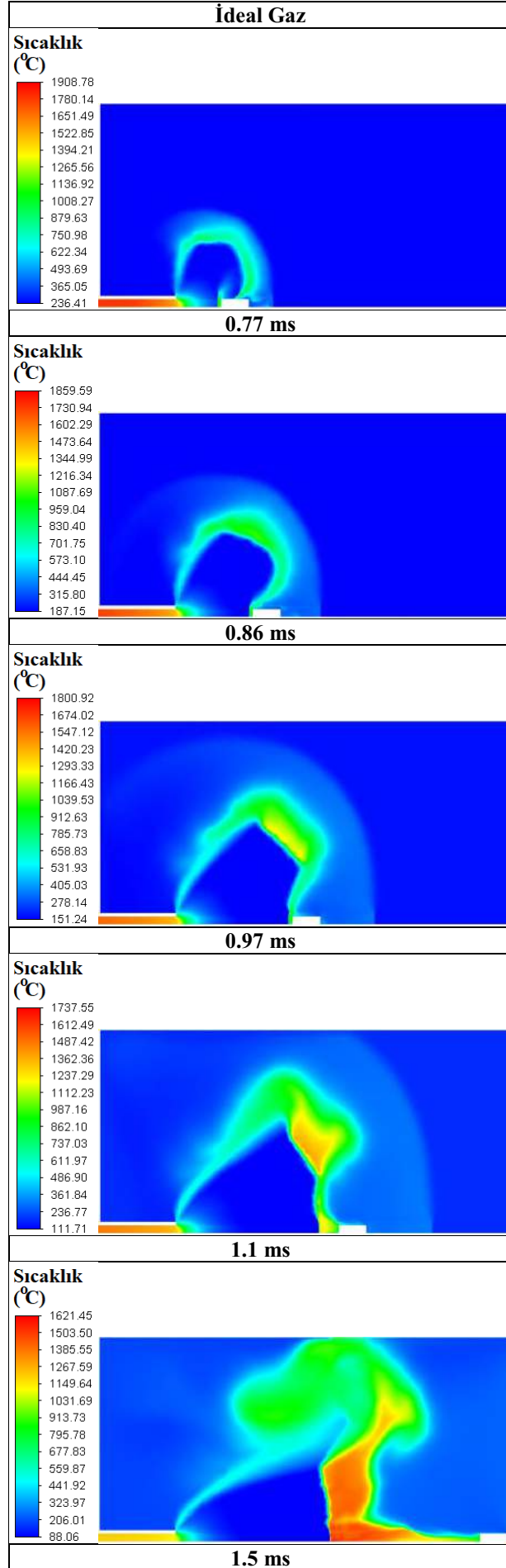
Şekil 6. a) 0.77 ms, b) 0.79 ms, c) 0.87 ms sürelerinde $y=0.015$ doğrusu boyunca Noble-Abel ve ideal gaz modellerindeki konuma bağlı basınç değişimi

Şekil 7’de farklı zamanlarda merminin ideal gaz modeline göre elde edilen hız konturları verilmiştir. Artan zamanla birlikte akış alanı genişlemiş ancak maksimum hız değerleri düşmüştür.

Şekil 8’de ise farklı zamanlarda merminin ideal gaz modeline göre elde edilen sıcaklık konturları verilmiştir. Zaman ilerledikçe elde edilen pik sıcaklıklar düşmüştür.



Şekil 7. Farklı zamanlarda merminin ideal gaz durumundaki hız konturları



Şekil 8. Farklı zamanlarda merminin ideal gaz durumundaki sıcaklık konturları

4. Sonuç

Ateşli silahlarda geri tepme kuvveti barutun yanmasına bağlı olarak ortaya çıkan gazın basıncından kaynaklanmaktadır. Bu anlamda ateşli silah namlusunda hareket eden bir merminin etrafındaki akış alanının tahmin edilmesi gerekir ki bu oldukça karmaşık bir iştir. Bu çalışma kapsamında yanma sonucu olan gazların davranışının modellenmesinde kullanılan Noble-Abel ve ideal gaz denklemlerinin, merminin akış alanı üzerindeki etkisi nümerik olarak incelenmiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde:

- Akış alanının hacmi, şok dalgalarının namludan genişlemesi nedeniyle sürekli olarak artmıştır.
- Mermi namlunun aşağısına doğru hareket ettikçe namlu içi basınç değerinin azaldığı görülmüştür.
- Noble-Abel denklemi kullanılarak yapılan çözümde merminin ideal gaz denklemi ile yapılan çözüme göre daha yavaş ilerlediği belirlenmiştir.
- Artan zamanla birlikte ideal gaz denkleminde elde edilen görüntülerin Noble-Abel denkleminde elde edilen sonuçlara benzer olduğu tespit edilmiştir.
- İdeal gaz denklemi kullanılarak elde edilen sonuçlarda akış alanı, Noble-Abel durumuna kıyasla daha yüksek olmuştur.
- $y=0.05$ m ve $y=0.1$ m doğrusu üzerindeki farklı noktalardan elde edilen basınç değerlerinin her iki denklemde benzer trendler oluşturduğu görülmüştür.
- $y=0.015$ doğrusu boyunca gaz modellerindeki konuma bağlı basınç değişimleri incelendiğinde 0.77 ms süresinde Noble-Abel gaz denklemi ile elde edilen sonuçlarla ideal gaz denklemi ile elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum sağlanmadığı tespit edilmiştir.
- Artan zamanla birlikte Noble-Abel ve ideal gaz denklemi sonuçlarının birbirine yaklaştığı ve özellikle 0.87 ms süresinde oldukça benzer sonuçlar verdikleri görülmüştür.
- Farklı zamanlarda merminin ideal gaz modeline göre elde edilen hızlar değerlendirildiğinde, zaman artışıyla birlikte akış alanının genişlediği ve maksimum hız değerlerinin düştüğü görülmüştür. Zaman artışıyla birlikte elde edilen pik sıcaklıkların da düştüğü tespit edilmiştir.

İlerleyen dönemdeki çalışmalarda diğer gaz denklemlerinin ve türbülans modelleri gibi parametrelerin akış alanına etkileri incelenebilir.

Kaynakça

- Bournot, H., Daniel, E., & Cayzac, R. (2006). Improvements of the base bleed effect using reactive particles. *International Journal of Thermal Sciences*, 45(11), 1052–1065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2006.01.018>
- Carson, R. A., & Sahni, O. (2014). Numerical investigation of propellant leak methods in large-caliber cannons for blast overpressure attenuation. *Shock Waves*, 24(6), 625–638.

- <https://doi.org/10.1007/s00193-014-0522-7>
- Cler, D., Chevaugnon, N., Shephard, M., Flaherty, J. E., & Remacle, J.-F. (2003). CFD application to gun muzzle blast--a validation case study. *41st AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*.
- Danberg, J. E., & Nietubicz, C. J. (1992). Predicted flight performance of base-bleed projectiles. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 29(3), 366–372. <https://doi.org/10.2514/3.26360>
- Fansler, K. S., & Schmidt, E. M. (1978). Trajectory perturbations of asymmetric fin-stabilized projectiles caused by muzzle blast. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 15(1), 62–64. <https://doi.org/10.2514/3.27998>
- Jiang, X.-H., Fan, B.-C., & Li, H.-Z. (2008). Numerical investigation on the muzzle flow with dynamic mesh based on ALE equation. *Jisuan Lixue Xuebao/Chinese Journal of Computational Mechanics*, 25, 563–567.
- Jiang, X., Fan, B., & Li, H. (2008). Numerical investigations on dynamic process of muzzle flow. *Applied Mathematics and Mechanics*, 29, 351–360. <https://doi.org/10.1007/s10483-008-0306-y>
- Jiang, Z. (2003). Wave dynamic processes induced by a supersonic projectile discharging from a shock tube. *Physics of Fluids*, 15(6), 1665–1675. <https://doi.org/10.1063/1.1566752>
- Jiang, Z., Huang, Y., & Takayama, K. (2004). Shocked flows induced by supersonic projectiles moving in tubes. *Computers & Fluids*, 33(7), 953–966. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0045-7930\(03\)00041-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0045-7930(03)00041-0)
- Le, G., Ma, D., Feng, Y., Shi, G., Zhu, Z., & Song, X. (2004). *Numerical simulation of muzzle blast flowfields of large caliber guns*. 25, 19–22.
- Luo, Y., Xu, D., & Li, H. (2020). Analysis of the Dynamic Characteristics of the Muzzle Flow Field and Investigation of the Influence of Projectile Nose Shape. *Applied Sciences*, Vol. 10. <https://doi.org/10.3390/app10041468>
- Mathur, T., & Dutton, J. C. (1996). Base-Bleed Experiments with a Cylindrical Afterbody in Supersonic Flow. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 33(1), 30–37. <https://doi.org/10.2514/3.55703>
- Xavier, S. (2011). *Numerical Analysis of Gun Barrel Pressure Blast Using Dynamic Mesh Adaption*.
- Zhuo, C., Feng, F., Wu, X., Liu, Q., & Ma, H. (2014). Numerical simulation of the muzzle flows with base bleed projectile based on dynamic overlapped grids. *Computers & Fluids*, 105, 307–320. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2014.08.006>



Effect of Low-Temperature Aluminizing on 904L Stainless Steel

Emre Öksüzoğlu¹, Kadir Mert Döleker^{2*}

¹ Ondokuz Mayıs University, Institute of Graduate Studies, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5662-243X), oksuzoqlu@gmail.com

^{2*} Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4057-6832), mert.doleker@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012930)

ATIF/REFERENCE: Öksüzoğlu, E. & Döleker, K.M. (2021). Effect of Low-Temperature Aluminizing on 904L Stainless Steel. European Journal of Science and Technology, (28), 1102-1106.

Abstract

Intermetallic materials exhibit desirable properties for many applications. They can be produced by traditional production techniques such as casting or powder metallurgy. In addition, they can be manufactured using some coatings techniques. Pack cementation technique is a very cheap, fast and simple operation to produce an intermetallic layer. 904L super austenitic stainless steel composed of high amounts Fe, Ni and Cr. It can be used in pulp and paper processing, some acid processing plants, cooling devices or oil refinery material. Its hardness is not high, and its usage temperature is low (<400 °C). To enhance these properties, aluminizing technique can be used. In the current study, 904 L super austenitic stainless steel was used as substrate material for the pack aluminizing process. The aluminizing process was applied at 675 °C for 2 and 4 h. After the aluminizing process, an aluminide layer formed on the 904L steel. The obtained aluminide layer thickness is about 19.2 and 290 µm for 2 and 4 h aluminizing process, respectively. The Aluminide layer is composed of FeAl₂, Fe₂Al₅, FeAl and Al₃FeNi phases in both aluminized samples. The formation of aluminide phases provided higher hardness on the surface of 904L stainless steel compared to untreated 904L.

Keywords: Intermetallic, Aluminizing, 904L stainless steel, Aluminide phase, Pack cementation.

904L Paslanmaz Çeliğe Düşük Sıcaklık Alüminyumlamamanın Etkisi

Öz

İntermetalik malzemeler birçok uygulama için arzu edilen özellikler sergilemektedirler. Döküm veya toz metalurjisi gibi geleneksel üretim teknikleri ile üretilebilirler. Ayrıca bazı kaplama teknikleri kullanılarak üretilebilirler. Kutu sementasyon tekniği, intermetalik bir tabaka oluşturmak için çok ucuz, hızlı ve basit bir işlemdir. 904L süper östenitik paslanmaz çelik yüksek miktarda Fe, Ni ve Cr' den oluşmaktadır. Kağıt hamuru ve kağıt işlemede, bazı asit işleme tesislerinde, soğutma cihazlarında veya petrol rafinerisi malzemelerinde kullanılabilir. Sertliği yüksek değildir ve kullanım sıcaklığı düşüktür (<400 °C). Bu özellikleri geliştirmek için alüminyumlama tekniği kullanılabilir. Mevcut çalışmada, kutu alüminyumlama işlemi için altlık malzemesi olarak 904 L süper östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Alüminize etme işlemi 675 °C'de 2 ve 4 saat süreyle uygulanmıştır. Alüminize etme işleminden sonra 904L çeliği üzerinde bir alüminid tabakası oluşmuştur. Elde edilen alüminid tabaka kalınlığı, 2 ve 4 saatlik alüminize işlemi için sırasıyla yaklaşık 19.2 ve 290 µm'dir. Alüminid tabakası, her iki alüminyumlanmış numunede FeAl₂, Fe₂Al₅, FeAl ve Al₃FeNi fazlarından oluşmaktadır. Alüminid fazlarının oluşumu, 904L paslanmaz çeliğin işlem görmemiş haline kıyasla yüzeyinde daha yüksek sertlik sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: İntermetalik, Alüminyumlama, 904L paslanmaz çelik, Alüminid faz, Kutu alüminyumlama.

*Corresponding Author: mert.doleker@omu.edu.tr

1. Introduction

904L stainless steel has high toughness, malleable and weldability. It also exhibits high stability and corrosion resistance in service conditions. The presence of Mo, Cr and Ni provide good corrosion resistance. Ni provides stress corrosion resistance while Cr_2O_3 formation on the surface is seen through high Cr during the oxidation. Besides, Cu addition enables resistance to strong acids. 904L can be used in oil refineries, heat exchangers, condenser tubes, seawater cooling, etc. (Koppula, 2021).

Martensite phase formation is not obtained at room temperature in 904L due to its full austenitic structure. Its strength can be only improved by cold-working process. It can be used up to 400 °C. Therefore, its both mechanical and high temperature properties are limited. However, it is very suitable for surface modifications such as carburizing, nitriding, boronizing and aluminizing (Çetin, 2021; Maistro, 2017; Jiang, 2019). These modifications can significantly enhance the surface hardness of 904L. Çetin et. al. (Çetin, 2021) boronized 904L stainless steel to increase its wear resistance. They found very complex phases, which has 2366-2396 HV. High hardness in borided 904L provided better wear resistance compared to 904L. The hardness of untreated 904L with 210 HV was significantly increased by the boronizing. In another study (Koppula, 2021), carbonitriding process provided 640-803 HV in 904L. Similarly, this enhanced the wear performance compared to the untreated 904L.

There are various aluminizing techniques such as chemical vapor deposition, physical vapor deposition, hot-dip aluminizing, or pack cementation (Priest and Zhang, 2015). Pack cementation has a low cost and simple technique compared to others. It does not contain a complex production system. There are two types as low and high temperature in the aluminizing process. Low temperature aluminizing is achieved below 700 °C (Erdogan, 2021). Therefore, substrate material does not affect temperature significantly. Activator, filler, and Al mixtures are used in the aluminizing process. Filler is used to inhibiting the aluminum sintering. The activator (NH_4Cl , AlCl_3 or NaF) forms metal halide gas (AlCl_3) reacting with the substrate surface (Xiang and Datta, 2004). Diffusion of the aluminum enables the aluminide phase formation on the surface of the substrate. In this study, low temperature aluminizing is carried out to 904L stainless steel to increase high temperature resistance and hardness. Aluminized samples were investigated in terms of microstructure and hardness.

2. Material and Method

904L super austenitic stainless steel was used as a substrate for the low-temperature aluminizing process. It was commercially provided by Birçelik company from Turkey. Its chemical composition is shown in Table 1.

Table 1. The chemical composition of 904L steel (wt.%)

Ni	Cr	Mo	Cu	Mn	Si	C	Fe
25	20	4.3	1.5	1	0.7	0.02	Bal.

Disc-shaped substrate material has 25.4 mm diameter and 4mm thickness. All samples were prepared metallographically before the aluminizing process. Substrates were ground up to 1000 grit SiC emery paper and then ultrasonically cleaned with

ethanol. 15 g powder mixture was prepared for each specimen's aluminization. 7% NH_4Cl as an activator, 38% Al, and, 55% Al_2O_3 as filler were used. These powders were mechanically mixed for 30 minutes. Afterward, the prepared samples were immersed in pack powder mixtures into a stainless steel crucible and sealed with a lid and fire clay mortar. The prepared pack was exposed to 675 °C for 2h and 4h in an electric furnace to get an aluminide layer on the surface of 904L steel. The cooling of the samples was carried out in the open air. Afterward, the aluminized samples were taken out and cleaned for microstructure, phase and hardness examinations. Micro-vickers hardness tests were carried out with 25 g load and 15 s duration. The aluminized samples were examined using an optical microscope (OM) (Leica), Scanning Electron Microscopy (SEM) (JEOL JSM-6060, FEI Co., Japan) and X-ray diffraction (XRD) (Rigaku, $\text{CuK}\alpha$, DMAX 2200, Japan) analysis. In the etching of 904L, 10 ml HCl, 10 ml H_2O and 1 ml HNO_3 were used. For SEM examinations, metallographically prepared samples were used and, the aluminide layer was examined using cross-sectional SEM images.

3. Results and Discussion

Fig. 1 shows the OM image of etched 904L. Austenitic grains and some twin boundaries can be seen in the image. These grains and twins are characteristic properties of austenitic structured steel.

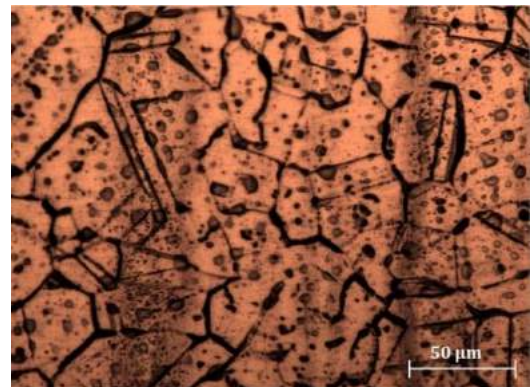


Fig. 1. OM image of etched 904L

XRD pattern of 904L is shown in Fig. 2. The obtained patterns belong to the austenite phase. The obtained three peaks show FCC structured austenite phase and, any other phase was not observed according to XRD analysis.

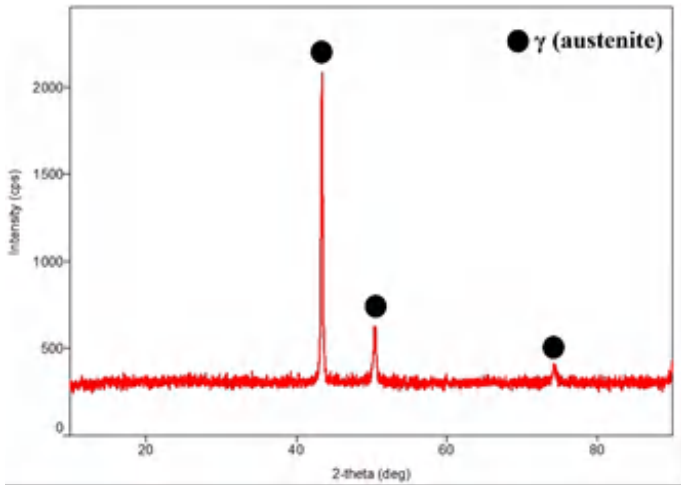


Fig. 2. XRD pattern of 904L

In Fig.3, a cross-sectional SEM image of the aluminized 904L at 675 °C for 2h is given. The formed aluminide thickness is 19.2 μm. The coating layer with dark gray color has a homogenous distribution. There is an interdiffusion zone (IDZ) with gray color between the coating layer and substrate. Its thickness is about 1μm. The formed coating layer has quite good adherence and, there is also no crack formation in the coating layer.

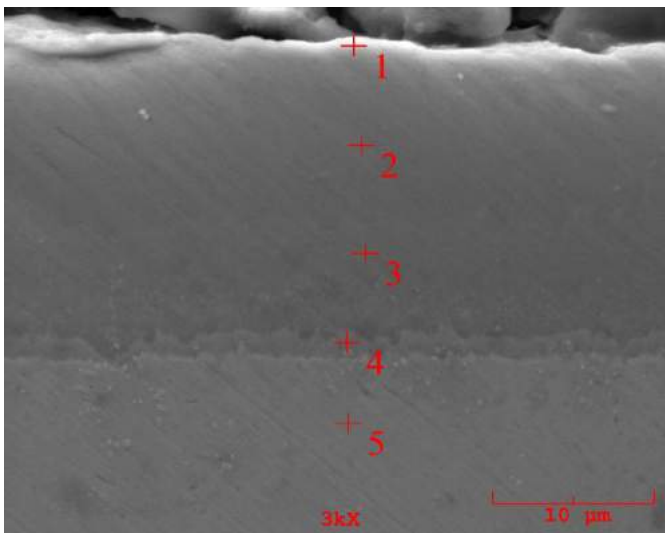


Fig. 3. SEM image of 2h aluminized 904L

EDX analysis result of Fig. 3 is given in Table 2. According to Table 2, the coating layer is dominantly composed of Al-rich phases (point 1, 2 and 3) and, the coating's composition did not almost change from top to IDZ (point 4). This shows that the coating layer has Al-rich intermetallic formations. At the interface, Al concentration slightly decreased yet, this region is also an aluminide intermetallic phase. According to elemental distribution, Fe-Al formation is more dominant than the others (Ni-Al, Cr-Al). Point 5 in Table 2 belongs to the substrate (904L).

Table 2. EDX results of 2h aluminized 904L (wt.%)

Pt.	Al	Fe	Ni	Cr	O	Mo	R.
1	59.96	12.19	8.14	6.12	4.83	-	-
2	69.91	15.58	7.04	5.64	1.82	-	-
3	65.23	18.37	8.16	7.04	1.21	-	-
4	41.40	27.61	13.94	11.82	2.42	-	2.81
5	0.61	49.5	20.68	21.52	1.87	5.82	-

Fig 4. shows the cross-sectional SEM image of aluminized 904L at 675 °C for 4h. The coating layer has 290 μm thickness and a more complex phase distribution in deeper zones compared to 2h-aluminized 904L.

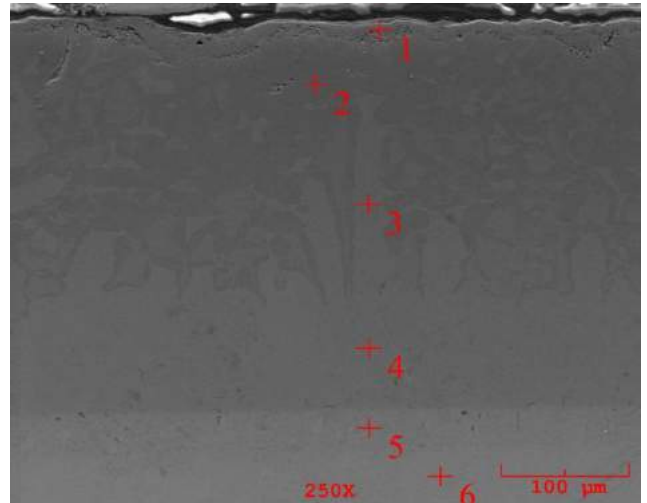


Fig. 4. SEM image of 4h aluminized 904L

In Table 3, EDX analysis results of 4h-aluminized 904L were shown. According to obtained EDX data, upper regions (1 and 2) with dark gray color are dominantly composed of Al-rich intermetallics while middle regions with gray color composed of (Fe, Ni)_xAl_y intermetallics. The interface (IDZ) with light gray between the substrate and coating layer consists of Fe-Cr rich phases according to point 5 values.

Table 3. EDX results of 4h aluminized 904L (wt.%)

Pt.	Al	Fe	Ni	Cr	Si	Mo	O	R.
1	13.1	39.44	11.95	9.83	-	3.17	6.32	16
2	60.02	25.15	7.84	5.6	-	-	1.2	0.2
3	43.89	28.97	17.13	7.92	-	-	0.56	1.5
4	43.29	28.55	17.74	7.43	-	-	0.59	2.4
5	2.2	46.36	3.72	31.46	3.36	7.37	2.2	2.5
6	0.15	49.85	20.55	20.75	1.22	4.63	1.72	1.4

Fig. 5 shows the XRD patterns of aluminized samples. After both 2h and 4h aluminizing, FeAl₂, Fe₂Al₅, FeAl and Al₅FeNi phases were detected. Al-rich Fe-Al phases are more dominant according to XRD patterns. This is consistent with the EDX analysis of aluminized samples.

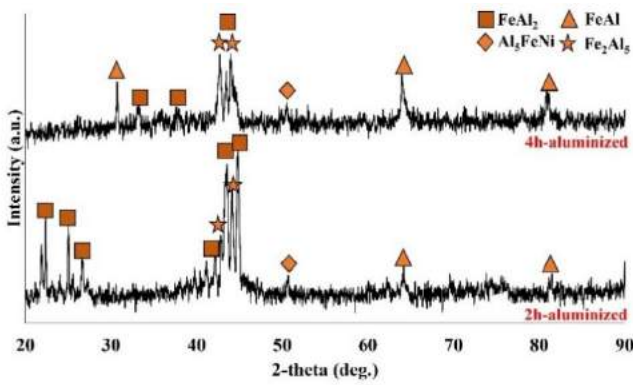


Fig. 5 XRD patterns of 2h and 4h aluminized 904L

After the hardness measurements, 2h-aluminized sample has 926 HV whereas 850 HV is obtained in 4h-aluminized 904L. There is no dramatic difference among the samples. This slight difference can be related to phase distribution of aluminides. After the aluminizing process, the hardness of 904L increased about 4-5 fold through the formation of aluminide phases.

In the formation of the aluminide layer, $AlCl_3$ gas, decomposed from the activator (NH_4Cl), reacts with the Al. This reaction enables the formation of $AlCl$ and $AlCl_2$ gaseous. The formed gaseous diffuses to the substrate and, active Al atoms, which dissolved into substrate, form. After this reaction, Fe_2Al_5 forms and, other phases ($FeAl_3$, $FeAl_2$ and $FeAl$, respectively) form on the substrate's surface by the repeated reactions with Al.

There is a dramatic difference among the aluminized samples for 2h and 4h in terms of coating thickness. Increased aluminizing time significantly increased the aluminide thickness. In the aluminizing of 316L (Dong, Sun and He, 2019), the obtained thicknesses are 47 and 86 μm under 680 °C for 2 and 4h. 316L is austenitic stainless steel and its chemical composition is near to 904L stainless steel. The main difference can be related to the selected aluminizing media.

Aluminizing process provides an aluminide layer on the 904L substrate surface. The formation of the aluminide layer significantly increased the substrate's hardness. It is well known that most intermetallics have high hardness values. Some Fe-Al intermetallic hardness values are given in Table 4.

Table 4. The hardness values belonging to some Fe-Al intermetallics (Matysik, Józwiak and Czujko, 2015)

Compounds	Hardness (Hv)
Fe_3Al	255-357
$FeAl$	460-530
$FeAl_2$	918-1071
Fe_2Al_5	969-1122
$FeAl_3$	816-999

According to Table 4, different hardness values were obtained depending on Al concentration. The increase in Al content led to higher hardness values. The difference in atomic radii between Fe and Al may be shown as one of the reasons for high hardness. Besides, lattice structure goes to complex structure depending on the increased Al content (Li, 2016). This may bring about an increase in hardness values, too. According to Table 4, the obtained hardness values are consistent with the $FeAl_2$, Fe_2Al_5 and $FeAl_3$. Mirrax steel has a relatively similar composition to

904L. After the pack aluminizing, the hardness of Mirrax steel increased from 250 HV to 1000 HV value (Yener, 2021). In the current study, similar hardness increase was obtained.

The formation of aluminide phases does not only improves the hardness values of the substrate but also enhances the high-temperature oxidation resistance of the substrate. The formed aluminide phases during the oxidation form an alumina scale which is the most desired oxide at high temperatures. The oxidation resistance of Mirrax steel is improved by aluminizing process. This enhancement was provided by the formation of alumina scale on the surface during the oxidation tests (Yener, Doleker and Erdogan, 2019). The same effect can be obtained in aluminized 904L due to similar phase formations.

4. Conclusions and Recommendations

904L super austenitic stainless steel was aluminized at 675 for 2h and 4h by pack aluminizing technique. According to SEM, XRD and hardness analysis, the obtained data and recommendations were summarized below:

- The formed aluminide thickness is significantly increased by the increased aluminizing duration.
- After the aluminizing, Al-rich phases dominantly formed on the 904L surface.
- The formed phases enhanced the hardness of 904L. Similarly, these phases can contribute to an increase in high-temperature resistance of 904L.
- The effect of powder mixture, microstructural change depending on process temperature and duration can be investigated to get better aluminide layer.
- The obtained aluminide layer's phases can be observed TEM or EBSD analysis technique to see phase distribution after aluminizing process.

In future studies, wear and high temperature oxidation behaviors of aluminized 904L steel will be investigated.

Acknowledgements

This study was supported by Scientific Research Projects of Ondokuz Mayıs University (Project No: PYO.MUH.1904.21.022).

References

Koppula, S., Jagarlamudi, V. G., Prudhvi, R. S., Rajkumar, A., Prashanth, S., Saranya, J., Saranya, N., Sateesh R., & Subbiah, R. (2021). Investigation of AISI 904L austenitic stainless steel by carbonitriding process under dry sliding conditions. *Materials Today: Proceedings*, 44, 1418-1422.

Çetin, M., Günen, A., Kalkandelen, M., & Karakaş, M. S. (2021). Microstructural, wear and corrosion characteristics of boronized AISI 904L superaustenitic stainless steel. *Vacuum*, 187, 110145.

Maistro, G., Oikonomou, C., Rogström, L., Nyborg, L., & Cao, Y. (2017). Understanding the microstructure-properties relationship of low-temperature carburized austenitic stainless steels through EBSD analysis. *Surface and Coatings Technology*, 322, 141-151.

Jiang, R., Zou, G., Shi, W., Liang, Y., & Xiang, S. (2019). Corrosion behavior of plasma-nitrided 904L austenitic

- stainless steel in hydrofluoric acid. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(3), 1863-1872.
- Priest, M. S., & Zhang, Y. (2015). Synthesis of clean aluminide coatings on Ni-based superalloys via a modified pack cementation process. *Materials and Corrosion*, 66(10), 1111-1119.
- Erdogan, A., Yener, T., Doleker, K. M., Korkmaz, M. E., & Gök, M. S. (2021). Low-Temperature Aluminizing Influence On Degradation of Nimonic 80A Surface: Microstructure, Wear and High Temperature Oxidation Behaviors. *Surfaces and Interfaces*, 101240.
- Xiang, Z. D., & Datta, P. K. (2004). Pack aluminisation of low alloy steels at temperatures below 700 C. *Surface and Coatings Technology*, 184(1), 108-115.
- Dong, J., Sun, Y., & He, F. (2019). Formation mechanism of multilayer aluminide coating on 316L stainless steel by low-temperature pack cementation. *Surface and Coatings Technology*, 375, 833-838.
- Matysik, P., Józwiak, S., & Czujko, T. (2015). Characterization of low-symmetry structures from phase equilibrium of Fe-Al system—Microstructures and mechanical properties. *Materials*, 8(3), 914-931.
- Li, X., Scherf, A., Heilmaier, M., & Stein, F. (2016). The Al-rich part of the Fe-Al phase diagram. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 37(2), 162-173.
- Yener, T., Erdogan, A., Gök, M. S., & Zeytin, S. (2021). Formation, characterization, and wear behavior of aluminide coating on mirrax® ESR steel by low-temperature aluminizing process. *Journal of Tribology*, 143(1), 011703.
- Yener, T., Doleker, K. M., & Erdogan, A. (2019). High temperature oxidation behavior of low temperature aluminized Mirrax® ESR steel. *Materials Research Express*, 6(11), 116407.



A Study on Conservation of Church Buildings in Turkey: The Example of Yalova/Esenköy Azize Paraskevi Church

Tuba Nur Olğun*

*Firat University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5654-0020), tnbaz@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012945)

ATIF/REFERENCE: Olğun, T. N. (2021). A Study on Conservation of Church Buildings in Turkey: The Example of Yalova/Esenköy Azize Paraskevi Church. European Journal of Science and Technology, (28), 1107-1111.

Abstract

Turkey, with its strategic location and deep-rooted past, has been a settlement area that has attracted the attention of many civilizations in the process that has reached the present day. In many parts of Anatolia, great civilizations ruled and artifacts reflecting the cultural characteristics of the period remained. At the forefront of these works are the places of worship that date back to almost as old as the history of humanity.

Worship has been considered as a vital need for humanity since ancient times. In this context, the act of worshiping continued for many years, both in the open area and inside the structures designed and built specifically for the faith. Although each belief brings its own requirements in terms of places of worship, it is possible to state that there are many common points, especially in terms of architecture. In this sense, the documentation and examination of the worship structures that have survived from the past and stand out with their qualities worth conserving are also of great importance in terms of providing inspiration for the designs of the places of worship that will be built in the future.

The aim of the study is to examine the conservation status of church buildings, which are widely seen all over the world and have important examples in Turkey, and in this context; To contribute to the conservation of Esenköy Azize Paraskevi Church, about which there is not enough information in the literature. Within the scope of the study, various church structures in Turkey that are under conservation were examined in the light of the relevant literature. Then, the present situation of the Esenköy Azize Paraskevi church was discussed and evaluations were made on the state of conservation. The study method consists of examining the sources and on-site observations. As a result, it is thought that the study will draw attention to the problems of church buildings in Turkey in the context of the conservation of all worship buildings and the importance of Esenköy Azize Paraskevi Church in terms of conservation.

Keywords: Conservation, Church, Yalova, Esenköy, Azize Paraskevi Church.

Türkiye'de Kilise Yapılarının Korunması Üzerine Bir Araştırma: Yalova/Esenköy Azize Paraskevi Kilisesi Örneği

Öz

Türkiye, stratejik konumu ve köklü geçmişiyle, tarihten günümüze ulaşan süreçte pek çok medeniyetin ilgisini çeken bir yerleşim alanı olmuştur. Anadolu'nun birçok noktasında büyük medeniyetler hüküm sürmüş ve bunlardan geriye, dönemin kültürel niteliklerini yansıtan eserler kalmıştır. Bu eserlerin başında, geçmişi neredeyse insanlık tarihi kadar eskiye uzanan ibadet yapıları gelmektedir.

İbadet, oldukça eski tarihlerden itibaren insanlık için yaşamsal bir ihtiyaç olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda gerek açık alanda, gerekse inanca özgü olarak tasarlanan ve inşa edilen yapıların içinde uzun yıllar boyunca ibadet etme eylemi gerçekleştirilmeye devam etmiştir. Her inanç, ibadet mekânları açısından kendi gerekliliklerini beraberinde getirir de özellikle mimari anlamda pek çok ortak noktanın bulunduğunu belirtmek mümkündür. Bu anlamda geçmişten günümüze ulaşan ve korumaya değer nitelikleriyle öne çıkan ibadet yapılarının belgelenmesi ve incelenmesi, gelecekte inşa edilecek olan ibadet yapılarının tasarımlarına ilham kaynağı sağlamak açısından da büyük önem taşımaktadır.

Çalışmanın amacı, tüm dünyada yaygın olarak görülen ve Türkiye'de önemli örnekleri bulunan kilise yapılarının koruma durumunu irdelemek ve bu bağlamda; literatürde hakkında yeterince bilgi bulunmayan Esenköy Azize Paraskevi Kilisesi'nin korunmasına katkı sağlamaktır. Çalışma kapsamında Türkiye'de bulunan ve koruma altında olan çeşitli kilise yapıları, ilgili literatür ışığında incelenmiştir. Ardından Esenköy Azize Paraskevi kilisesinin günümüzdeki durumu ele alınarak korunmuşluk durumu üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma yöntemini kaynakların incelenmesi ve yerinde gözlemler oluşturmaktadır. Sonuç olarak yapılan çalışma ile Türkiye'de, tüm ibadet yapılarının korunması bağlamında kilise yapılarının sorunlarına ve Esenköy Azize Paraskevi Kilisesi'nin koruma açısından önemine dikkatin çekileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Koruma, Kilise, Yalova, Esenköy, Azize Paraskevi Kilisesi.

* Corresponding Author: tnbaz@firat.edu.tr

1. Introduction

Places of worship have always been prominent structures as an important part of conservation work in architecture. The history of these places, which are mostly symbols, dates back to ancient times (Güngör Açıkgoz ve Ahunbay, 2008). Worship structures that have survived from the past are mostly synagogues, churches and mosques built for the worship of Judaism, Christianity and Islam.

Conservation approaches in architecture were developed primarily on the consideration of monumental structures (Ahunbay, 2004). In this context, buildings of worship have also been frequently discussed in terms of conservation. Many symbolic worship structures have been repaired in order to be conserved and passed on to future generations. However, many modest worship structures in Turkey were lost before they could be taken under conservation. In particular, the immigration of Jewish and Christian populations from the country in various periods caused the abandonment of synagogues and churches in the settlements of these groups. In this context, while some of the abandoned worship buildings are conserved; some of them have been destroyed or destroyed for various reasons.

The aim of the study is to make a reading through the Yalova/Esenköy Azize Paraskevi Church, which stands out with its modest qualities, regarding the conservation of churches from symbolic structures in Turkey and to make positive contributions in this sense. Within the scope of the study, first of all, the literature on the conservation status of historical church buildings in Turkey was examined. Then, the general characteristics of the Esenköy Azize Paraskevi Church were revealed and all the information obtained was evaluated together. The working method consists of on-site observations and source investigations.

2. Conservation Status of Historical Church Buildings in Turkey

Turkey, with its deep-rooted history and strategic location, has hosted many civilizations, cultures and beliefs. It is known that many areas with settlements since prehistoric times are within the borders of Turkey. In the following process, different states, nations and belief groups continued their existence in this geography. Among these groups, Christian communities were also found intensively.

Churches as places of worship of the Christian faith are widespread in many parts of the world. Turkey also has a rich stock in this sense, with church structures used by the Christian communities it hosted both in the past and today. Many studies have been carried out in order to conserve these structures and transfer them to future generations. However, it can be stated that the church buildings in some small settlements are in a dilapidated condition and have not been taken under conservation yet.

One of the prominent church structures in the context of conservation in Turkey is the Sent Antuan Church in Istanbul/Beyoğlu. The building, which was built in 1724 with the Gothic architectural style, was demolished due to the tramway line and it was started to be rebuilt in the same area in 1906. The structure, which continues to exist today with its Neo

Gothic style is used for tourism purposes as well as its original function (Atıcı and İnceoğlu, 2020) (Figure 1).



Figure 1. Saint Antuan Church under conservation, Istanbul (Personal archive, 2011)

One of the church structures that have survived and conserved in Turkey is located in Konya/Sille. The church structure, which is known to have been built in B.C. 327, has continued its existence with various repairs (Tapur, 2009). The building, which was one of the important worship centers of the period, serves as a museum today (Figure 2).



Figure 2. Aya Elenia Church under conservation, Konya (Personal archive, 2017)

Ayavukla Church, located in Izmir, is one of the places of worship that is of great importance in the context of conservation. The building, which was opened for worship in 1887, started to serve as the Izmir Archeology Museum in 1924, after its congregation left Turkey with the population exchange. The building, which has been evaluated with different functions in the processes that have reached the present day, started to host various cultural events with the completion of the restoration works in 2010 (URL 1) (Figure 3).



Figure 3. Ayavukla Church under conservation, Izmir (URL 2; Personal archive, 2018)

It is possible to talk about the existence of churches in a dilapidated condition in addition to the church structures that are under conservation in Turkey and continue their existence both with their original functions and with re-functioning. These structures can be found in various urban centers as well as in rural areas. In this sense, one of the examples identified is located in the İzmir/Urla countryside, in the Nohutalan District. The stone-material building was unused and neglected after the Christian population left the settlement due to the population exchange (Olğun and Yörür, 2020) (Figure 4).



Figure 4. A ruined church building, Izmir (Olğun and Yörür, 2020)

Churches are monumental structures that contain many metaphors and symbolic features (Eşmeli, 2014). In this sense, not only as a worship structure; it is possible to consider them as symbols worth conserving in terms of the intangible values of the settlements in which they are located. In this context, Esenköy Azize Paraskevi Church is one of the church structures that has not yet been taken under conservation in Turkey, but stands out symbolically. It is important to reveal the characteristics of the building and to examine its conservation status, in the context of emphasizing the importance of other church structures in a similar situation.

3. Investigation of Esenköy Azize Paraskevi Church

Esenköy is a town in the Çınarcık district of Yalova province (Figure 5, Figure 6). Located on the shores of the Marmara Sea, the settlement has hosted users of Greek origin for many years in the past. Muslim families of Caucasian and Laz origin settled in place of the Greeks who had to leave the settlement with the population exchange. This situation has brought socio-cultural and economic changes in Esenköy (URL 3).

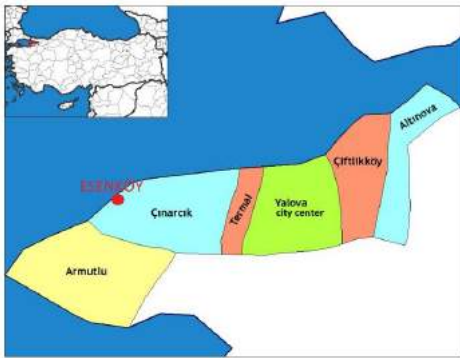


Figure 5. Location of Esenköy in Yalova (Prepared by using URL 4)



Figure 6. Aerial photography of Esenköy (Google Earth, 2021)

In Esenköy, both before the exchange; it is known that there are monumental structures and houses built with traditional methods after the settlement of Muslim users. However, most of them have been lost before reaching the present day. Azize Paraskevi Church, which has not been lost yet but is in a very neglected condition, has qualities worth examining as one of the oldest monumental works in the settlement. Only the exterior walls and some interior elements have survived from the church building, which is located on Yalova Street, at a central point of the settlement (Figure 7, Figure 8).



Figure 7. Location of Azize Paraskevi Church in Esenköy (Prepared by using Google Earth, 2021)



Figure 8. The view of Azize Paraskevi Church from the east wall on Yalova Street (Personal archive, 2021)

The construction date of Azize Paraskevi Church is unknown. It is approximately 23 m long, 13 m wide and 7.50 m high (Figure 9). Looking at the ruins in the interior, it is thought that the entrance to the building is on the western facade. However, three more entrance doors have been added to the building in the process that has reached the present day. In addition, many non-original windows were seen on the north, south and east facades. However, there is a residential structure that was built later, adjacent to the western facade of the building (Esenköy Municipality, 2021).

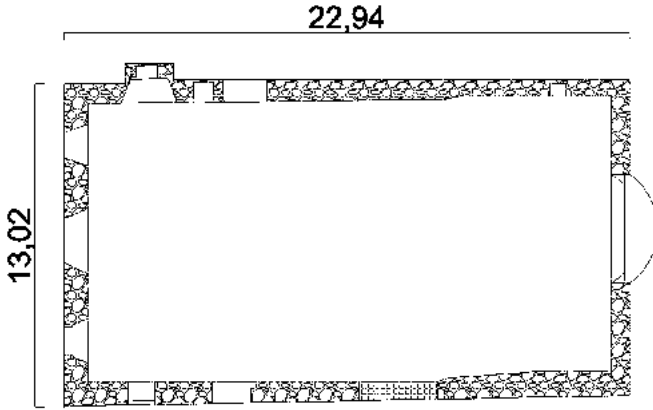


Figure 9. Azize Paraskevi Church +1.00 level schematic plan (Prepared by using Esenköy Municipality, 2021)

The material of the building mainly consists of rubble stones. However, it can be stated that the use of bricks is intense especially at the points where the door-window arches are located and under the roof eaves. It has been observed that some of the door-window spaces have wooden joinery, but there is no information about their authenticity.

The church structure is in a very dilapidated condition today. There are few elements of the building in its interior. These can be listed as niches, apses, windows and doors (Figure 10, Figure 11). No items that could be associated with this building were found in its surroundings. New residences continue to be built in the immediate vicinity of the building. However, many unqualified buildings adjacent to the site were removed.



Figure 10. The apse and niches of Azize Paraskevi Church (Personal archive, 2021)



Figure 11. Apertures in the north wall of Azize Paraskevi Church (Personal archive, 2021)

The church structure is mostly made of stone material. However, there is also the use of bricks under the eaves of the roof, in the arches above the window and door openings, and at various points on the walls. The wall thicknesses of the building, which was built with a masonry system, vary between approximately 82-93 cm.

Although Azize Paraskevi Church is located at a central point of Esenköy as a town connected to the touristic province of Yalova on the shore of the Marmara Sea, it is in a very dilapidated condition today. The outer walls of the building have partially survived. There are occasional abrasions and losses on these walls. However, the building was used as a house for a while; for this reason, it is known that apertures contrary to the original are created in the walls (Esenköy Municipality, 2021). The top cover of the church has completely disappeared. Interior items have also not survived to a large extent. The fact that all the users of the settlement are here after the population exchange makes it difficult to obtain information about the history of the building. In this sense, the problems of the Azize Paraskevi Church in terms of conservation can be listed as follows:

- The building remained idle due to the abandonment of its users.
- The fact that the new users of the settlement belong to a different belief has been effective in losing the importance of the building.
- The fact that the building is located at a central point in the settlement has accelerated the process of extinction under the influence of rapid and unplanned urbanization.
- The conservation and repair of the building was delayed due to the lack of conservation awareness and the effect of rent.
- The complete loss of the top cover has been effective in accelerating the structural damage.
- Under the influence of inappropriate functional changes, unqualified and unoriginal interventions were made.

The above-mentioned conservation problems can be considered as important obstacles to the correct transmission of the Saint Paraskevi Church to future generations. For the solution of these problems, both by local governments; as well as the steps to be taken on the initiative of the users of the settlement and the applications to be made by the experts can be considered as the most basic requirements for the conservation of the church.

4. Conclusion

Historical worship buildings, as the reflections of a deep-rooted culture and tradition, are artifacts that have an important place today and are considered worthy of conservation. In this context, church buildings are frequently discussed in the field of architectural conservation, as one of the prominent values of the Christian faith. Thus, there are many historical church structures that have survived to the present day.

When we look at the state of conservation of historical church buildings in Turkey, it can be stated that the structures located in important centers and in qualified areas that have hosted great civilizations are more conserved. However, it is possible to talk about the existence of ruined church structures in many settlements located in small-scale settlements and abandoned by their users for various reasons, although there are conserved church structures. One of them is Esenköy Azize Paraskevi Church.

Azize Paraskevi Church has a highly qualified structure in terms of materials and construction system. However, many factors such as irregular construction, rent, lack of conservation awareness, and vandalism have caused this structure to not be conserved. In this sense, the measures that can be effective in order to conserve the structure and transfer it to future generations can be listed as follows:

- Clearing the building from unqualified structuring around the church,
- Documentation work,
- Preparation of its restitution with detailed research on its past,
- Considering the absence of the congregation, its re-using with an appropriate function and the preparation of the restoration project accordingly,
- Giving information to the users of the settlement about the importance of the building and raising awareness of conservation.

In addition to the suggestions mentioned, the developments in the conservation process of similar structures that are under protection today can be investigated and evaluated in the context of Azize Paraskevi Church and practices can be developed accordingly. As a result, it is thought that with the study, the importance of historical church structures is emphasized and it contributes to the preservation of Esenköy Azize Paraskevi Church as a value that is about to disappear.

References

- Ahunbay, Z. (2004). *Historic Environment Conservation and Restoration*, Istanbul, Turkey: YEM Publication.
- Atıcı, E. and İnceoğlu, M. (2020). "The Legibility of Saint Anthony Church from an Architectural Perspective", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35:3, pp: 1499-1508.
- Esenköy Municipality (2021). *Azize Paraskevi Church archive*.
- Eşmeli, İ. (2014). "The Church And Metaphors For 'Church' in Christian History", *Turkish Studies*, vol. 9(5), pp. 953-966.
- Google Earth (2021). *Aerial photography of Esenköy*.
- Güngör Açıkgöz, Ş. and Ahunbay, Z. (2008). "Conservation Proposals for the 19th Century Kayseri Churches",

itüjournal/a Architecture, Planning, Design, vol. 7(2), pp. 26-37.

Olğun, T. N. and Yörür, N. (2020). "Rural Settlement Properties And Conservation Problems Of Nohutalan Neighborhood (Village) In Izmir, Urla", *International Social Sciences Studies Journal*, vol. 6(73), pp:4865-4886.

Tapur, T. (2009). "A Historical Settlement in Konya: Sille", *Turkish Geography Journal*, vol. 53, pp: 15-30.

URL 1 https://tr.wikipedia.org/wiki/Aziz_Vukolos_Kilisesi, date of access: 20.10.2021.

URL 2 <https://www.izmir.bel.tr/tr/Projeler/ayavukla-kilisesi-kent-yasamina-katildi/1577/4>, date of access: 11.10.2021.

URL 3 <https://www.esenkoy.bel.tr/content/159/Esenk%C3%B6y+Tarihi>, date of access: 11.10.2021.

URL 4 [https://tr.wikipedia.org/wiki/Yalova_\(il\)#/media/Dosya:Yalova_districts.png](https://tr.wikipedia.org/wiki/Yalova_(il)#/media/Dosya:Yalova_districts.png), date of access: 20.10.2021.



Makine Öğrenimi Algoritmaları Kullanarak Kalp Hastalıklarının Tespit Edilmesi

Mustafa Coşar^{1*}, Emre Deniz²

^{1*} Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6482-4592), mustafacosar@hitit.edu.tr

² Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Çorum, Turkey, (ORCID: 0000-0001-6482-0000), emredeniz@hitit.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012986)

ATIF/REFERENCE: Coşar, M., Deniz, E. (2021). Makine Öğrenimi Algoritmaları Kullanarak Kalp Hastalıklarının Tespit Edilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1112-1116.

Öz

Kardiyovasküler hastalıklar, her yıl tahminen 17.9 milyon can kaybına neden olmaktadır. Toplam ölüm miktarının büyük bir çoğunluğunu oluşturan kalp hastalıkları için erken tanı ve tedaviler önemli bir yer kapsamaktadır. Uzun zamandır tıp alanında gerçekleştirilen çalışmalar, son çeyrek yüzyılda bilgisayar bilimlerinin hızlı yükselişi sayesinde makine öğrenmesi ve yapay zekâ gibi yeni tekniklerle desteklenerek daha başarılı hale getirilmiştir. Bu çalışmada kalp rahatsızlığını tespit etmek için örnek veri seti üzerinde makine öğrenmesi teknikleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk olarak veri seti analiz edilmiştir. Hangi verilerin kalp rahatsızlığına dair işaretlerde bulunabileceği belirtilmiştir. Ardından üç farklı makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak örnek bir model oluşturulmuş ve kalp rahatsızlığı olan bireyler tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, Random Forest algoritması ile %88'lik bir doğruluk oranı ile daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bunu sırasıyla %85'lik bir doğrulukla ile Lojistik Regresyon ve %70'lik bir doğruluk ile kNN algoritması takip etmiştir. Bulgular, kalp rahatsızlığının temel birkaç veri ile kolayca tespit edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Makine öğrenmesi, Veri madenciliği, Kalp hastalığı tespit etme, Medikal veri analizi.

Detection of Heart Diseases Using Machine Learning Algorithms

Abstract

Cardiovascular diseases cause an estimated 17.9 million deaths each year. Early diagnosis and treatments have an important place for heart diseases, which make up the majority of the total number of deaths. Studies carried out in the field of medicine for a long time have been made more successful by being supported by new techniques such as machine learning and artificial intelligence, thanks to the rapid rise of computer science in the last quarter century. In this study, machine learning techniques were applied on the sample data set to detect heart disease and the results were compared. First, the data set was analyzed. It has been noted which data may be indicative of heart disease. Then, a sample model was created using three different machine learning methods and individuals with heart disease were identified. When the obtained results are compared, it has been observed that the Random Forest algorithm is more successful with an accuracy rate of 88%. This was followed by Logistic Regression with 85% accuracy and kNN algorithm with 70% accuracy, respectively. The findings show that heart disease can be easily detected with a few basic data.

Keywords: Machine learning, Data mining, Detect heart disease, Medical data analysis.

* Corresponding Author: mustafacosar@hitit.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda bilişim teknolojilerinin her sektörde yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle sağlık sektöründe hastalıkların belirlenmesinde makine öğrenmesi tekniklerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır (Selvi, 2019; Taşdelen, 2019). Konu canlılar ve canlıların sağlığı olduğunda hastalıkların önceden belirlenerek erken teşhis edilmesi tedavide başarımlar oranını yükseltmekte ve hayat kurtarmaktadır. Erken teşhis aşamasında bilişim teknolojilerinin gözde alanlarından olan makine öğrenme teknikleri faydalı ve başarılı sonuçlar vermektedir. Makine öğrenme teknikleri ya da algoritmaları olarak bilinen Yapay Sinir Ağları (YSA), Derin Öğrenme (DL), Karar Ağaçları (DT), Sınıflandırma ve Regresyon modelleri (CART, Logistic Regression-LR, K-Nearest Neighbours- KNN), Random Forest (RF), Bulanık Mantık (FL), Genetik Algoritmalar (GA), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Uzman Sistemler (US) gibi pek çok teknik kullanılmaktadır.

Literatürde sağlık sektörünün her bir alanında bu tür çalışmalara rastlamak mümkündür. Fan ve diğ. (2011)' nin WBCD veri seti üzerinde SVM, kNN ve NaviBayes gibi yöntemleri kullanarak göğüs kanserinin tespiti çalışmasını yapmışlardır. Araştırmanın sonuçlarına göre SVM'de 0.776, kNN'de 0.737 ve NaviBayes algoritması ile 0.702 oranında başarımlar sağlanmıştır.

Bektaş ve Babur (2016) çalışmalarında Makine Öğrenmesi Teknikleri yardımıyla Kent Ridge 2 veri seti üzerinde Meme Kanserini teşhis etmeye çalışmışlardır. Bu araştırmanın bulgularına göre YSA algoritmaları ile başarımlar oranları 0.814 bulunurken, DVM algoritmasında 0.845 ve Rastgele Orman algoritması ile 0.907 olarak bulunmuştur.

Jain ve Singh (2018) çalışmalarında diyabet hastalığının tespiti için makine öğrenme algoritmalarından geleneksel sınıflandırma yöntemi ve SVM algoritmasını kullanmışlardır. Sonuç olarak 0.924 oranında bir başarımlar ile hastalığı tespit etmişlerdir.

Haq ve arkadaşlarının (2018) yapmış olduğu çalışmada çeşitli sınıflandırma algoritmalarını karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir ver en başarılı doğruluk oranına Lojistik Regresyon ile ulaştığını belirtmişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre, SVM algoritması %88, DT algoritması %76 ve kNN algoritması ise %69 oranında başarımlar sağlamıştır.

Saygın ve Baykara (2021) çalışmalarında Makine Öğrenmesi tekniklerinde özellik seçimi kullanarak karaciğer yetmezliğini teşhis etmeye çalışmışlardır. Indian Liver Patient Dataset (ILPD) üzerinde yaptıkları uygulamada Hafif Gradyan Güçlendirme Makinesi Sınıflandırıcısı-LGBM %82.12, Çok Katmanlı Algılayıcı-MLP %81.13, DT %81.13, SVM %77.87 ve Lojistik Regresyon-LR %77.80 şeklinde başarımlar oranlarıyla hastalığı tespit etmişlerdir

Benzer olarak, Potur ve Erginel (2021), 299 kalp hastalığı riski bulunan hasta veri seti üzerinde makine öğrenme algoritmaları ile bir tahmin uygulaması yapmıştır. Uygulamada, LR, Naive Bayes-NB, MLP, SVM ve Karar Ağacı algoritmaları kullanmışlardır. Araştırmanın sonuçlarına göre, LR %88, NB %78, MLP %90, SVM %85 ve son olarak Karar Ağacı %83 oranında tahmin başarımlar göstermiştir.

Yukarıda anlatılan örnek çalışmaların birçoğunda makine öğrenme algoritmalarından DT, LR, SVM, kNN ve NaiveBayes

algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Bu algoritmaların başarımlar oranlarını veri setinin yapısı, set içerisindeki veri miktarı ve araştırmada kullanılan araçların etkilediği varsayılmaktadır. Bu nedenle veri seti seçimi temel parametre olarak değerlendirilebilir. Bu parametreyi kontrol altına almak için gerçek hasta grubu ve onların verileri üzerinde bir araştırma yapılarak sonuçların karşılaştırması yapılabilir.

Bu çalışmada, kalp rahatsızlığını tespit etmek için KYTVS örnek veri seti üzerinde makine öğrenmesi teknikleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk olarak veri seti analiz edilmiştir. Hangi verilerin kalp rahatsızlığına dair işaretlerde bulunabileceği belirtilmiştir. Ardından üç farklı makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak örnek bir model oluşturulmuş ve kalp rahatsızlığı olan bireyler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Araştırmanın II. bölümünde, kullanılan veri seti, hasta demografik özellikleri, hasta olup olmamaları ve belirti gösterip göstermedikleri gibi parametreler ortaya konmuştur. III. bölümde veri seti üzerinde makine öğrenme algoritmaları uygulanarak hastalığın tespit başarımlar oranları belirlenmeye çalışılmıştır. IV. bölümde algoritmaların öne çıkan özellikleri bulgular ışığında sonuç bölümünde makine öğrenme algoritmalarının sağlık sektöründe ne oranda başarımlar elde ettikleri, veri setlerinin genel durumu ve gelecekte bizleri nelerin beklediği gibi konular hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Materyal and Yöntem

2.1. Veri Seti

Bu çalışma, Kalp Yetmezliği Tahmin Veri Seti (KYTVS) (Kaggle, 2021) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu veri seti, daha önce kullanılan ama birbirinden bağımsız olarak kullanılan 5 farklı veri setini içermektedir. Bu farklı veri setleri, 11 farklı ortak özellik üzerinden birleştirilerek asıl veri setini oluşturmuştur.

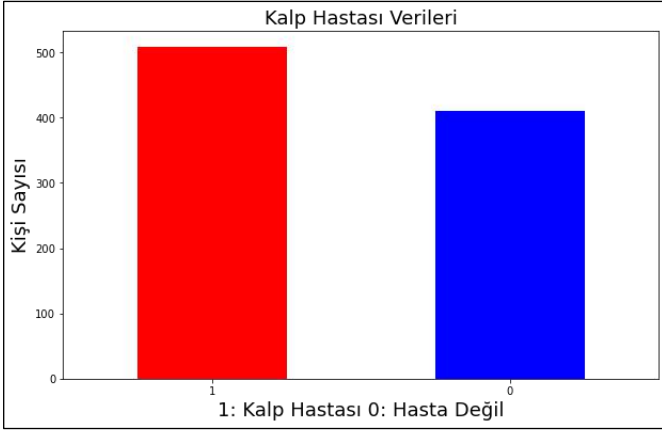
Tablo 1. KYTVS Özellikleri

Özellik	Açıklama	Örnek
Age	Hastanın Yaşı	30
Sex	Hastanın Cinsiyeti	M
ChestPainType	Göğüs Ağrısı Tipi	ATA
RestingBP	Dinlenme Kan Basıncı	140
Cholesterol	Kolesterol	214
FastingBS	Açlık Kan Şekeri	1
RestingECG	Dinlenme Elektrokardiyo Sonuçları	Normal
MaxHR	Maksimum Nabız	156
ExerciseAngina	Egzersizle Bağlı Ağrı	Yes
Oldpeak	Depresyonda Ölçülen Sayısal Değer	1.5
ST_Slope	Tepe Egzersizinin Eğimi	Flat
HeartDisease	Çıktı Sınıfı	0, 1

Kullanılan veri setinde 11 farklı özellik ve bunlara ek olarak kalp rahatsızlığının olup olmadığını belirten özellik bulunmaktadır. Bu özellikler Tablo 1' de detaylı olarak gösterilmiştir.

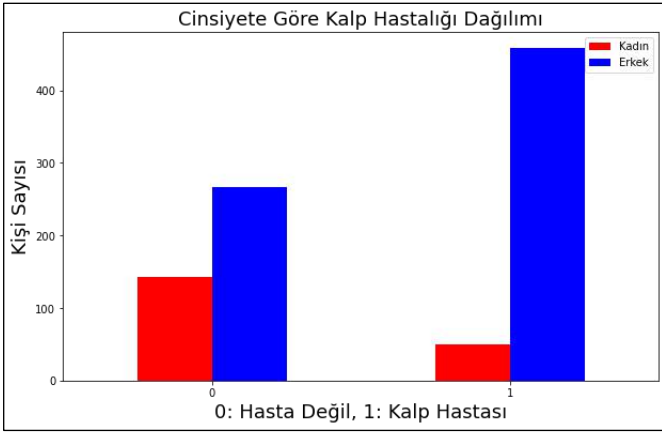
Veri seti içerisinde bulunan hasta verilerine ait toplam hasta ve sağlıklı birey sayısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere toplam 918 birey içerisinden 508 hastalık

belirtisi gösteren birey, 410 kişi ise sağlıklı birey olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1. Sağlıklı ve Kalp Hastası Birey Dağılımı

Şekil 2’de cinsiyete göre kalp hastalarının dağılımı gösterilmiştir. Görüldüğü üzere erkeklerin kalp hastalığına sahip olma oranı, kadınlara göre daha yüksektir.



Şekil 2. Cinsiyete Göre Hastalık Dağılımı

Tablo 2’de göğüs ağrısı tipine göre bireylerin hasta olup olmadığı karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Göğüs Ağrısı Çeşidi ve Hastalık Durumu

Ağrı Türü	Hastalıklı Birey Adedi	Sağlıklı Birey Adedi
ATA	24	149
NAP	72	131
TA	20	26
ASY	392	104
Toplam	508	410

Tablo 2 incelendiğinde, kalp hastalığına sahip olanların büyük çoğunluğunun ‘ASY’ tipi göğüs ağrısında şikayetçi olduğu görülmektedir.

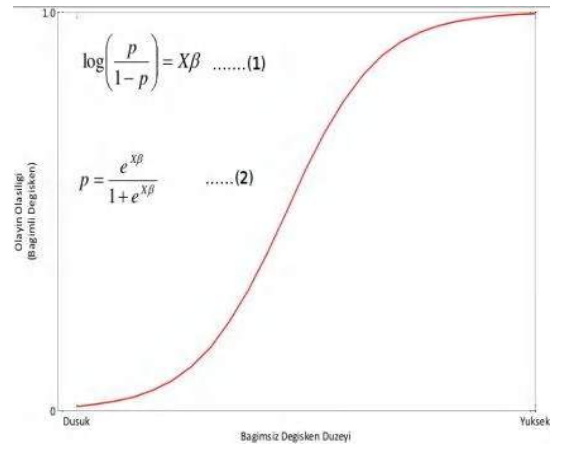
Veri seti üzerinde hastalık belirtileri olarak adlandırılan bu parametreler, python programlama dilinde yazılan bir modül ile sınıflandırma ve regresyon tahminleri yapılar hale getirilmiştir. Oluşturulan bu model sayesinde makine öğrenme algoritmalarından LR, kNN ve RF algoritmaları formül ve fonksiyonları kullanılarak tahmin doğruluk oranları tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.2. Yöntem

Kalp Hastalığı olan bireyleri tespit edebilmek için üç farklı makine öğrenmesi modeli oluşturulmuştur. Bunlar sırasıyla Lojistik Regresyon, kNN ve Random Forest algoritmalarıdır. Bu algoritmalar sınıflandırıcı ve değişkenler üzerindeki ilişkiyi ortaya koyan analiz yöntemleridir.

Sınıflandırma kategorik değerler üzerinde örüntü kurma, sınıflama ve tahmin etme işlerini yaparken regresyon analizi ise süreklilik veya kesikli durum gösteren değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkiyi belirlemeyi sağlar (Çalış ve diğ. 2014).

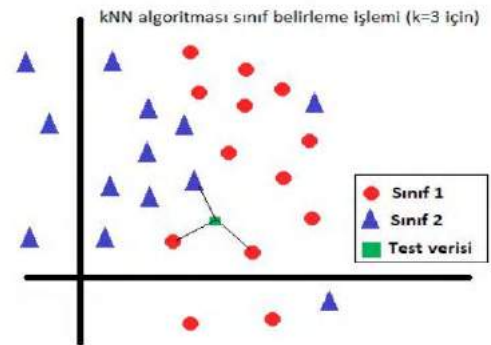
Lojistik Regresyon, değişkenlerin birbirlerini ne yönde etkilediklerini araştıran bir sınıflandırma algoritmasıdır. Bir olayda, bağımlı değişken iki veya daha fazla sınıfa sahip iken, bağımsız değişkenler sürekli veya kategorik bir yapıyı içeriyor ise, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi araştıran bir yöntemdir (Haq ve diğ. 2018; Akgül ve Çelik, 2020).



Şekil 3. Lojistik Regresyon (Budak ve diğ. 2013)

Şekil 3’te örnek bir lojistik regresyon analiz fonksiyonu ve eğrisi görülmektedir. Bu algoritmada, bağımlı değişken olan p’ nin β sabitli x bağımsız değişkenleri ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi sağlanmış olur.

K-En Yakın Komşuluk (K-Nearest Neighbors-kNN) algoritması denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır (Wu ve diğ. 2007). Bu algoritma genellikle sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir (Nayak ve diğ. 2020). kNN, veri seti içerisindeki büyük miktarda eğitim verisini işleyerek test verisi üzerinde sınıflama ve tahmin yapma olanağı sunan bir algoritmadır.

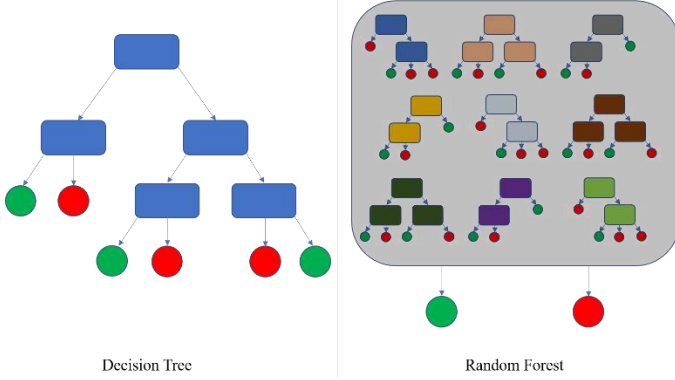


Şekil 4. kNN Algoritması ile Sınıf Belirleme Modeli (Çavuşoğlu ve Kaçar, 2019)

Şekil 4’te k=3 için sınıf belirleme işlemi yapılmıştır. K değerine en yakın üç komşu belirlenerek bu komşuların hangi

sınıfa ait olduğu bulunmuş olur. Eğitim verisinde bu sınıflar belirlendikten sonra test verisinde bu modele uygun olarak sınıflama ve tahmin yapılmış olur.

Random Forest, sınıflama ve regresyon özelliklerini bir arada barındıran bir algoritmadır. Bu algoritma Şekil 5'te görüldüğü gibi karar ağaçlarının birleşiminden oluşan bir algoritmadır.



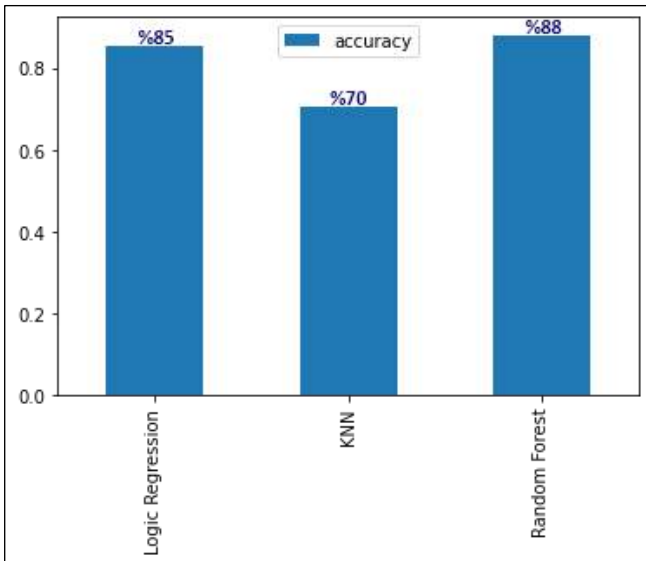
Şekil 5. Karar Ağacı ve Randon Forest Algoritması (WikiMedia,2020)

Bir sınıflama için kullanılan karar ağaçları arasında doğruluğu ve bağımsızlığı en yüksek ağaçların bir arada kullanılması tercih edilmektedir (Veranyurt ve diğ. 2020). Bu durumda ilk akla gelen ise RF algoritması olmaktadır.

3. Bulgular

Bu çalışmada, klinik verilerinden oluşturulmuş veri seti üzerinden hastaların kalp rahatsızlığı olup olmadığı makine öğrenme teknikleriyle tespit edilmiştir. Hastalık ile ilgili olarak veri seti içerisindeki hastalık belirtilerinin hastalık teşhisinden ne oranda etkili olduğu bazı algoritmalar yardımıyla sınıflandırılmıştır.

Şekil 6'da üç farklı sınıflandırma algoritması sonucu elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Görüldüğü üzere en başarılı sonuçlar, Random Forest algoritması ile elde edilmiştir. Lojistik Regresyon ile yapılan sınıflandırma Random Forest'a biraz daha yakın görünse de kNN algoritmasının diğer iki algoritmaya göre çok daha düşük başarı oranı sağladığı görülmektedir.



Şekil 6. Algoritmaların Hastalık Tespitindeki Doğruluk Oranları

Hastaların söyledikleri şikayetler, onların cinsiyet ve fiziksel durumları göz önüne alındığında kalp hastalığını doğrulayan en önemli etkenin göğüs ağrısı tipi olduğu gözlemlenmiştir. Hastalığın tespitinde kullanılan makine öğrenme algoritmaları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Makine Öğrenme Algoritmaları ile Kalp Rahatsızlığı Tespiti Doğruluk Oranları

Algoritma	Doğruluk Oranı (%)
Random Forest	88
kNN	70
Lojistik Regresyon	85

Ayrıca erkeklerin kadınlara göre daha sık kalp hastalığına yakalandığı veri setinin analizinde görülmüştür. Veri setini içeren tüm 11 özellik göz önüne alındığında, test verileri üzerinde bize en başarılı sınıflandırmayı yapan ise %88 doğruluk oranı ile Random Forest algoritması olmuştur. %85 ile Lojistik Regresyon Random Forest'a yakın doğrulukta başarı sağlamıştır. kNN ile yapılan sınıflandırma ise %70 ile doğruluk sağlamıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada kardiyovasküler hastalıklar için oluşturulmuş olan ve beş farklı veri setinin birleştirilmiş hali olan KYTVS veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti içerisinde hastaların demografik özellikleri ve fiziksel şikayetleri yer almaktadır. Bu veri seti üzerinde yaptığımız analizler doğrultusunda makine öğrenme algoritmalarının hastalığı tahmin etmede iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Ayrıca, veri setine uygulanan makine öğrenme algoritmalarından Random Forest algoritmasının tahmin etme oranı olarak en yüksek sonucu verdiği belirlenmiştir.

Farklı veri setleri ve farklı makine öğrenme algoritmaları üzerinde yeni çalışmalar yapılarak hastalıkların teşhisinde daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca disiplinler arası çalışmalarda gerçek veriler kullanılarak algoritmaların doğruluklarının karşılaştırılması sağlanabilir. Özellikle sağlık alanında ciddi sonuçlar doğurabilecek hastalıkların önceden teşhis ve tedavisinde makine öğrenme algoritmalarının sağlık çalışanlarına faydalı olabileceği düşünülmektedir.

References

- Akgül, G., Çelik, A., (2020). Hipotiroidi Hastalığı Teşhisinde Sınıflandırma Algoritmalarının Kullanımı, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Cilt: 13, Sayı: 3, Temmuz 2020, doi: 10.17671/gazibtd.710728
- Bektaş, B., Babur, S. (2016). Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Meme Kanseri Teşhisinin Performans Değerlendirmesi, *TıpTekno'16 Tıp Teknolojileri Kongresi*, 27-29 Ekim, Antalya.
- Budak, İ., Şen, B. ve Yıldırım, M.Z. (2013), Lojistik Regresyon ile Bilgisayar Ağlarında Anomali Tespiti, *Akademik Bilişim Konferansı 2013*, Akdeniz Üniversitesi, 23-25 Ocak 2013, Antalya.
- Çalış, A., Kayapınar, S., Çetinyokuş, T. (2014). Veri Madenciliğinde Karar Ağacı Algoritmaları ile Bilgisayar ve İnternet Güvenliği Üzerine Bir Uygulama, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt: 25, Sayı: 3-4, Sayfa: 2-19.

- Çavuşoğlu, Ü., Kaçar, S. (2019). Anormal Trafik Tespiti için Veri Madenciliği Algoritmalarının Performans Analizi, *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 7-2, 205-216, 2019.
- Fan, C.Y., Chang, P.C., Linb, J.J., Hsiehb, J.C. (2011). A hybrid model combining casebased reasoning and fuzzy decision tree for medical data classification. *Applied Soft Computing*, 11(2011), pp.632-644
- Haq, A., Li, J., Memon, M.H., Nazir, S. and Sun, R., (2018). A Hybrid Intelligent System Framework For The Prediction Of Heart Disease Using Machine Learning Algorithms, *Mobil Information Systems*, Volume 2018, Article ID 3860146, 21 pages, doi: 10.1155/2018/3860146
- Jain, D., Singh, V. (2018). Feature selection and classification systems for chronic disease prediction: A review. *Egyptian Informatics Journal*, 19 (2018), pp.179–189, doi: 10.1016/j.eij.2018.03.002
- Kaggle, (2021). Heart Failure Prediction Dataset | Kaggle. Available at: <https://www.kaggle.com/fedesoriano/heart-failure-prediction> (accessed Oct. 9, 2021).
- Nayak, S., Panda, M., Palai, G. (2020). Realization of optical ADDER circuit using photonic structure and KNN algorithm, *Optik*, Volume 212, June 2020, 164675, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.164675
- Potur, E.A., Erginel, N., (2021). Kalp Yetmezliği Hastalarının Sağ Kalımlarının Sınıflandırma Algoritmaları ile Tahmin Edilmesi, *European Journal of Science and Technology Special Issue* 24, pp. 112-118, April 2021, doi: 10.31590/ejosat.902357
- Saygın, E., Baykara, M., (2021). Karaciğer Yetmezliği Teşhisinde Özellik Seçimi Kullanarak Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Başarılarının Ölçülmesi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33(2), 367-377, 2021, doi:10.35234/fumbd.832264.
- Selvi, O., (2019). Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması, *European Journal of Science and Technology (EJOSAT)*, Year 2019, Issue 16, 176-185, doi:10.31590/ejosat.553549.
- Taşdelen, D., (2019). Veri Madenciliği Uygulamaları, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Veranyurt, Ü. , Deveci, A. , Esen, M. F. ve Veranyurt, O. (2020). Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Hastalık Sınıflandırması: Random Forest, K-Nearest Neighbour ve Adaboost Algoritmaları Uygulaması. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 6 (2) , 275-286.
- WikiMedia Commons. (2020). Decision Tree vs. Random Forest, [İnternet], Erişim Tarihi: 10 Ekim, 2021, Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Decision_Tree_vs._Random_Forest.png
- Wu, X., Kumar, V., Quinlan, R., Ghosh, J. *et al.* (2007), Top 10 Algorithms in Data Mining. *Knowledge and Information Systems*. 14, pp.1–37. doi: 10.1007/s10115-007-0114-2



Makine Öğrenmesi İle Borsa Analizi

Mahmut Emir Arslan¹, Pınar Kırıcı^{2*}

¹ Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Bursa, Turkey, 031690062@ogr.uludag.edu.tr

^{2*} Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Bursa, Turkey, pinarkirci@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012785)

ATIF/REFERENCE: Arslan, M.E., & Kırıcı, P. (2021). Makine Öğrenmesi İle Borsa Analizi. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1116-1120.

Öz

Borsanın temel mantığı teknik analiz denilen matematiksel işlemlere, grafiklere ve bazı indikatörlere dayanmaktadır ve yatırımcılar işlemlerini bu grafik ve indikatörlerin ürettiği tahmin sonuçlarına göre gerçekleştirmektedirler. Bu projede makine öğrenimi ile geçmiş yıllara dair veriler kullanılarak bir sistem eğitilecek ve bu sistem gelecek günlerdeki bitcoin verilerini görsel hale getirip borsa hareketlerinin momentumuna göre kullanıcıya al ve sat sinyalleri üretecektir. Hedef olarak bugünün ve geleceğin değerli borsa larından birisi olan Bitcoin borsası ele alınacaktır. Doğrusal regresyon yöntemi ile Bitcoinin günlük grafikte en yüksek, en düşük, hacim ve arz-talep verileri üzerinden al-sat sinyalleri üretilecektir. Bu veriler Quandl veritabanı aracılığıyla Bitfinex bitcoin alım satım borsası tarafından elde edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Borsa, Doğrusal regresyon, Bitcoin, makine öğrenimi, Quandl veritabanı

Stock Market Analysis with Machine Learning

Abstract

The basic logic of the stock market is based on mathematical operations called technical analysis, graphics and some indicators. Investors perform their transactions according to the forecast results produced by these charts and indicators. In this project, a system will be trained using machine learning and data from the past years, and this system will visualize the bitcoin data in the coming days and generate buy and sell signals for the user according to the momentum of the stock market movements. As a target, the Bitcoin stock market, which is one of the valuable stock markets of today and the future, will be discussed. With the linear regression method, buy-sell signals will be generated over the highest, lowest volume and supply-demand data on the daily chart of Bitcoin. These data will be obtained by the Bitfinex bitcoin exchange through the Quandl database.

Keywords: Stock market, Linear regression, Bitcoin, machine learning, Quandl database

1. Giriş

Modern döviz piyasası, Bretton Woods varlık yönetimi sisteminin dışına çıkıldığında şekillenmeye başladı. Bu pazarın eşsiz özellikleri şu şekildedir: günlük işlem hacminin büyüklüğü, coğrafi dağılım ve hafta içi günlerindeki sürekli çalışma. Forex piyasası, bir noktanın merkez alındığı farklı büyüklükteki daireler olarak düşünülebilir. Sistemin merkezi piyasadaki en büyük bankalardan ve menkul kıymetlerden oluşur. İkinci daire ticari şirketler, yüksek risk barındıran yatırım fonları ve döviz tüccarları gibi diğer küçük katılımcılardan oluşur. İşlem yapılan katılımcı merkezden ne kadar uzaksa alım-satım yayılımı o kadar büyük olur [1].

21. yüzyılın başlarında hisse senedi fiyatlarının gelecek hareketlerini öngörmek adına birçok girişimde bulunuldu. Finansal piyasa, doğrusal olmayan oldukça karışık bir sistemdir. Sadece kendi düzenlemesi olan bir varyasyon olmamakla birlikte aynı zamanda siyaset, ekonomik durum ve yatırımcıların psikolojisi gibi diğer birçok faktörden etkilenir. Yapay sinir ağları kendi kendine organizasyon yapabilme, uyarlanabilmesi ve veri setleriyle eğitim yapılabilmesi dolayısıyla hisse senedi fiyatlarının dalgalanmalarını tahmin etmek için uygun bir araç durumundadır. Etkin piyasa hipotezine göre, finans piyasasında hisse senedi fiyatları halka açıldığında finans piyasasının gelecek hareketlerinin kesin olarak tahmin edilmesi imkansızdır. Bu analiz çoklu regresyon kullanan geleneksel çalışmalar için doğru kabul edilmektedir. Buna göre hisse senedi fiyatları, dinamik ve doğrusal olmayan ilişkiler ile finans piyasasında belirtilmektedir [2].

[3]'de yapılan çalışmada Bitcoin değerinin değişme oranının Google'da ve Wikipedia'da yapılan aramaların miktarıyla orantılı olduğu ifade edilmiştir. [4]'de sunulan çalışmada, Bitcoin değerinin değişim oranının medyada gördüğü ilgi ile popüler olması ve bitcoin üzerinde yapılan alım satım işlemlerinin hacimsel büyüklüğünden kaynaklı olduğu savunulmuştur. [5]'de yapılan çalışmada, Bitcoin ve altının sınırlı sayıda olmaları ve aralarında başka bir takım benzerlikler olduğu belirtilmiştir. [6]'da ise FTSE100, DOW30, SSE, S&P500, NASDAQ gibi küresel piyasaların ve ayrıca altın, gümüş ve ham petrol gibi maden fiyatlarının bitcoin fiyatının değişimiyle orantılı olduğu belirtilmiştir.

Bitsgap, en çok tanınan, kripto para alım satım yapabilen makine öğrenmesi kullanılarak geliştirilmiş botlardan biridir. Kullanıcının bütün kripto para hesaplarını tek bir çatı altında toplar ve birleşik bir arayüz üzerinden işlem yapmasını sağlar. Bitsgap alım satım botu 25'ten fazla kripto para borsası üzerinde kullanılabilir ve kullanıcılar e-posta, Google veya Facebook hesapları üzerinden erişim sağlayabilmektedir. Otomatik alım satım işlemi sunduğu gibi kullanıcılara alım satım sinyalleri üretirken son kararı onlara bırakan bir sisteme de sahiptir. Arayüz üzerinden girilen alım satım emirleri yüksek güvenlik için 2048 bit şifreleme ile saklanmaktadır [7].

2003 yılında kurulan Trade Ideas, günlük işlemler açısından lider durumdaki bir platformdur. Yüksek olasılıklı işlem fırsatları için ABD ve Kanada'daki her hisse senedini geriye dönük test eden son teknoloji yapay zeka algoritmaları içerir. Trade Ideas başarılı görülen bir noktası her alım satım sinyalinin grafikte görsel olarak gösterilmesidir. Holly AI ismindeki bir algoritma ile Cleveland Biolabs hisse senetleri üzerinden 4 saatlik bir süre içerisinde %25 oranında kar elde etmiştir. Holly Grail, Holly 2.0, Holly Neo, S&P 500 ismindeki 4 yapay zeka algoritması ile yıllık olarak %24 oranında kar sağlamıştır [8].

TrendSpider, hızla büyüyen bir alım satım şirkettir ve Dan Ushman tarafından 2016 yılında kurulmuştur. Bu sistem yalnızca grafikler üzerinden görülmeyen eğilimleri tespit etmek için yapay zeka ve üstün matematiksel işlem gücü kullanmaktadır. TrendSpider, geçmiş veriler üzerinden eğitilirken trend çizgilerini ve fibonacci seviyelerini otomatik olarak üretebilmesi ile güçlü bir durumdur [9].

MetaStock, 600'den fazla grafik ve göstergeye dayalı bir borsa teknik analiz hizmetidir ve Hisse senetleri, ETF'ler, endeksler, tahviller ve para birimlerinin grafiklerinin oluşturulmasını sağlar. Sistem, kullanıcı tarafından özel göstergeler üzerinden kullanıcı tarafından belirlenen hisse senetleri veya diğer yatırım araçları üzerinde alım satım yapabilmektedir. Genelde yeni başlayan veya orta düzey yatırımcılar tarafından kullanılmaktadır [10].

Tickeron, örüntü tanımaya dayalı yapay zeka sistemlerini kullanır. Kullanılacak model seçildikten sonra bu model ile eşleşen hisse senetleri üzerinden oluşturulan veritabanı ve teknik analiz yöntemi kullanılarak alım satım işlemleri veya yön tahminleri üretilir [11].

2. Materyal ve Yöntem

Önerilen sistem, doğrusal regresyon yöntemini temel alacaktır ve Bitcoin'in günlük grafik üzerindeki sayısal değerleri doğrultusunda bir algoritma geliştirilerek bazı indikatörler yardımıyla da alım satım sinyalleri oluşturacaktır. Bu bölümde doğrusal regresyon yöntemi ve kullanılacak olan indikatörler ayrıntılı şekilde aşağıda açıklanmıştır.

Doğrusal regresyon, bir veya daha fazla tahmin üreten değişken ile bir sonuç değişkeni arasındaki ilişkiyi belirtir. Doğrusal regresyon genellikle tahmine dayalı analiz ve modelleme için kullanılır.

Göreceli güç endeksi, Welles Wilder Jr. Tarafından 1978'de geliştirilen bir finansal teknik analiz indikatörüdür. Belirli zaman aralığında bir hissenin yükseliş veya düşüş trendinde olduğunu ve bu hareketlerin ne kadar ivmeli olduğunu gösterir. Genel olarak tek başına kullanılsa da ürettiği değerler üzerinden yatırımcıya alım-satım sinyalleri verebilir. RSI'nın en yaygın olarak kullanıldığı dönem sayısı 14'dür. Bunun anlamı incelenen grafiğe saatlik veya günlük olarak bakıldığında her saatin veya günün kapanış değerleri esas alınarak yüksek kapanış yapan dönemler, düşük kapanış yapan dönemlere bölünür ve göreceli güç elde edilir. Bu elde edilen değer 1 fazlası 100'e bölünerek 100'den çıkarılır böylece her zaman 0-100 arasında bir değer alır. RSI değeri genel olarak 30-70 bantlarına göre değerlendirilir. 70 üstündeki değerlerde hisse üzerinde aşırı alım olduğu görülür ve satım sinyali verir. 30'un altındaki değerler ise aşırı satım olduğunu gösterir ve alım sinyali üretir.

MACD, Hareketli ortalamaların yakınsaması veya uzaksaması ismindeki bu indikatör 1960lı yıllarda Gerald Appel tarafından geliştirilmiştir. Teknik analiz dünyasında en çok kullanılan indikatörlerin başında gelir.

3. Bulgular

Günümüzde kullanımı oldukça artan bitcoin borsası bir hayli hacimli hareketler yapmaktadır. Bunun anlamı, hisse fiyatlarının çok hızlı yükselmesi ve çok hızlı düşmesidir. Geliştirilen proje, bitcoin borsasında işlem yapan herkese fikir verme amaçlıdır.

Projede kullanılan yöntem sklearn kütüphanesinin doğrusal regresyon yöntemidir. Bu yöntemle ilave olarak borsalarda en sık

kullanılan 2 momentum göstergesi ‘MACD’ ve ‘RSI’ göstergeleri eklenmiştir. Doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak eğitilen sistem gelecek 11 günlük veri tahminlerini görsel hale getirerek kullanıcıya sunar. Bunun üstüne MACD ve RSI indikatörlerinden elde edilen veriler bir denklem üzerinde birleştirilerek bir hesaplama tabii tutulur ve denklem sonucuna göre kullanıcıya al, sat veya bekle sinyalleri iletir.

Sistemin veri kümesi ‘Quandl’ internet sitesi üzerinden ‘Bitfinex’ borsasındaki veriler ile sağlanmaktadır. Veri seti 2014 yılı Nisan ayının 15’inden günümüze kadar olan değerleri içerir [12]. Bu veriler bitcoinin günlük en yüksek, en düşük, kapanış, en yüksek-en düşük oranı, alım-satım oranı ve hacim değerleridir. Bu veri setine ek olarak doğrusal regresyon sınıfının ‘predict()’ fonksiyonu ile bitcoin borsasının gelecek dönem için üretilen tahmin değerleri ile ‘Prediction’ isimli yeni bir sütun oluşturulmuştur (Şekil 1).

	High	Low	Last	HL_P...	ASKBL...	Volu...	Label	Prediction
2021-06-04T00:00:00	39275.00000	35586.00000	37179.00000	9.92227	0.00269	6032.06453	nan	nan
2021-06-05T00:00:00	37924.00000	34022.56648	35085.00000	0.83977	0.00285	6576.60306	nan	nan
2021-06-06T00:00:00	36475.00000	35089.00000	35361.27269	3.91954	0.00566	5923.34733	nan	nan
2021-06-07T00:00:00	36784.00000	33550.00000	34124.00000	9.47720	0.00293	9817.04593	nan	nan
2021-06-08T00:00:00	34175.00000	31075.00000	33438.00000	9.27089	0.00259	13414.67918	nan	nan
2021-06-09T00:00:00	37209.00000	32469.00000	37077.00000	12.78421	0.00270	26641.46843	nan	nan
2021-06-10T00:00:00	38337.00000	35816.00000	36736.00000	6.06248	0.01634	9870.16665	nan	nan
2021-06-11T00:00:00	37650.00000	35929.00000	37450.00000	4.59546	0.01602	6258.40148	nan	nan
2021-06-12T00:00:00	37461.34593	34630.00000	35622.00000	7.94831	0.00281	7552.95983	nan	nan
2021-06-13T00:00:00	39574.00000	34800.00000	38818.19016	11.78314	0.01288	8286.04543	nan	nan
2021-06-14T00:00:00	40980.00000	38730.00000	40237.57962	5.59179	0.01740	10141.91433	nan	nan
2021-06-15T00:00:00	41273.00000	39445.80757	40150.00000	4.55072	0.00249	7851.82458	nan	nan
2021-06-16T00:00:00	40460.00000	38255.00000	38574.98426	5.71614	0.00259	6660.40301	nan	nan
2021-06-17T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	36771.65299
2021-06-18T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	34131.53179
2021-06-19T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	34753.88416
2021-06-20T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	33323.02872
2021-06-21T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	33639.91781
2021-06-22T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	37973.61908
2021-06-23T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	36188.64173
2021-06-24T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	37404.03237
2021-06-25T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	35101.14000
2021-06-26T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	39476.16746
2021-06-27T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	38973.81254
2021-06-28T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	39571.02465
2021-06-29T00:00:00	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	37747.87511

Şekil 1 Veri kümesi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Veri setinin %80’i sistemin eğitilmesi ve geri kalan %20’si ise sistemin test edilmesi için kullanılmıştır. Yapılan test sonucu doğruluk oranının %95,5 olduğu görülmüştür (Şekil 2).

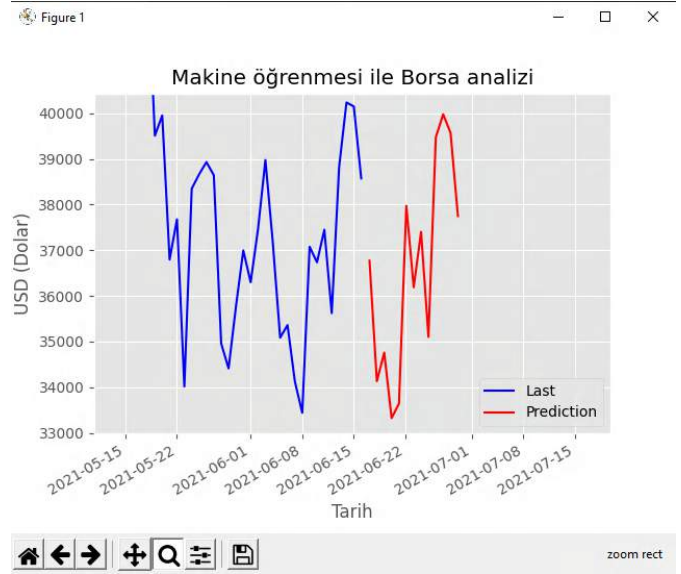
```
accuracy = 0.9556430275383495
RSI = 49.58
MACD = 369.56821692445374
İşlem sinyali yok
```

Şekil 2 Sonuç örneği

Sistemin test edilmesi LinearRegression() sınıfının ‘score()’ fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Bu fonksiyon bağımsız bir değişkenin doğrusal regresyon yöntemini kullanarak bağımlı değişkeni ne kadar belirtebildiğini ifade eder ve bu ölçüt belirtme katsayısı olarak adlandırılarak R^2 ile gösterilir. R^2 ‘0’ ve ‘1’

tamsayıları arasında bir reel sayı değeri ile regresyon modelinin doğruluk oranını ifade eder.

Borsa üzerinde tahmin değerleri üretilip veri setine aktarıldıktan sonra pyplot sınıfı ile bu verilerin görselleştirilmesi yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3 Borsa analizi örneği

[13] Tarafından yapay sinir ağları kullanılarak uzun-kısa süreli bellek hücresi yöntemiyle geliştirilen sistem %95’lik bir doğruluk oranına sahip olduğu halde geliştirici bu oranın yetersiz olduğunu savunmaktadır. Bitcoin borsasındaki çok yüksek hacimli ani değişimler göz önüne alındığında medyanın ve kimi tanınmış insanların spekülasyonları da işin içine katıldığında doğru bir düşüncedir. [6]’da yapılan çalışmada, kişileri rastgele orman makine öğrenmesi algoritmasını temel alarak geliştirdikleri bitcoin alım-satım programında çeşitli küresel ekonomik piyasaların hareketlerini ve teknolojik gelişmeler olarak adlandırdıkları bitcoin üretim hızı, Google ve Wikipedia’da yapılan aramaların sıklığı da projeye eklenmiştir. Sonuç olarak bu teknolojik ve ekonomik faktörler bitcoin fiyatı üzerinde büyük etkiye sahiptir.

Geliştirilen sistemin test sonuçlarından elde edilen %95,5 oranındaki doğruluk oranına sahip olmasına rağmen, sistem geliştirildikten sonra yapılan incelemelerde görülmüştür ki bir sosyal medyada yapılan bir paylaşım sonrası bitcoinin değeri hızlı bir şekilde tahmin edilen değer aralığının dışına çıkmıştır. Bu incelemeye dayanarak diğer küresel borsalarda yapılan manipüle hareketleri %5-%10 civarında seyrederken bitcoin üzerinde bu manipüle hareketleri %30’luk değişim oranının üstüne çıkabilmektedir. Bu da bitcoin borsasının diğer borsalara göre çok daha manipüle edilebilir olduğunu göstermektedir.

Projede, gelecek çalışmalar adına RSI ve MACD gibi daha fazla teknik analiz yöntemi eklenmesi yapılabilir. Bunun yanında medya ve tanınmış kişilerin spekülasyonlarına karşın bu spekülasyonları takip edip spekülasyon yönünde işlem açabilecek bir bot geliştirilebilir. Ayrıca projenin hedefi bitcoin ile sınırlı kalmayarak farklı borsalarda daha güvenli hisseler hedef olarak eklenebilir.

Kaynaklar

- [1] Evans, C., Pappas, K., & Xhafa, F. (2013). Utilizing artificial neural networks and genetic algorithms to build an algo-trading model for intra-day foreign exchange speculation. *Mathematical and Computer Modelling*(58), 1249-1266.
- [2] Deng, W., & Luo, Q. (2012). Stock Market Prediction Using Artificial Neural Networks. *Advanced Engineering Forum*(6-7), 1055-1060.
- [3] Kristoufek, L. (2013). Bitcoin meets google trends and Wikipedia. *Scientific Reports*(3), 3415.
- [4] Polasik, M., & Piotrowska, A. (2015). Price fluctuations and the use of Bitcoin. *International Journal of Electronic Commerce*(20), 9-49.
- [5] Dyhrberg, A. (2015). Bitcoin, gold and the dollar-A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*(16), 85-92.
- [6] Chen, W., Xu, H., & Jia, L. (2021). Machine learning model for Bitcoin exchange rate prediction using economic and technology determinants. *International Journal of Forecasting*(37), 1300-1301.
- [7] <https://www.bitcoinhaber.net/otomatik-kripto-para-alim-satim-botu-bitsgap-nedir>
- [8] <https://www.trade-ideas.com/>
- [9] <https://victorytale.com/best-ai-stock-trading-software/>
- [10] <https://www.liberatedstocktrader.com/ai-stock-trading/>
- [11] <https://startupsavant.com/news/tickeron-launches-ai-robot>
- [12] *Quandl*.(2021). <https://www.quandl.com/data/BITFINEX/BTCUSD-BTC-USD-Exchange-Rate-17-Haziran-2021>
- [13] Schmitz, J. (2020). <https://towardsdatascience.com/the-beginning-of-a-deep-learning-trading-bot-part1-95-accuracy-is-not-enough-c338abc98fc2>



Grafen Oksit Katkılı Kitosan/Hidroksipropil Metilselüloz Biyanokompozit Film Sentezi ve Anti-Kanser İlacı 5-Fluorourasil'in Kontrollü Salımında Kullanımı

Mürüt Akal¹, Muhammed Emre Demirdere², Derya Ünlü^{3*}

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye,(ORCID: 0000-0002-2825-0226), muritalak@gmail.com

² Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1983-2697), emredemirdere@gmail.com

^{3*} Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5240-5876), derya.unlu@btu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.1012983)

ATIF/REFERENCE: Akal, M., Demirdere, M.E. &Unlu, D. (2021). Grafen Oksit Katkılı Kitosan/Hidroksipropil Metilselüloz Biyanokompozit Film Sentezi ve Anti-Kanser İlacı 5-Fluorourasil'in Kontrollü Salımında Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1121-1125.

Öz

Kontrollü ilaç salım sistemleri, kullanılan ilaç miktarını en aza indirmek, ilaç alma periyodunu uzatmak, tedavi sırasında oluşabilecek yan etkileri ortadan kaldırmak amacıyla son yıllarda oldukça ilgi görmektedir. İlaç salımının kullanılmasının temel nedeni da ha etkili bir tedavi yöntemi sağlamaktır. Bu çalışmada kontrollü ilaç salımı için biyanokompozit filmler sentezlenmiştir. Biyotemelli polimerler olarak kitosan ve hidroksipropil metil selüloz kullanılmıştır. Grafen oksit ilave edilerek katkılanmış filmlere ilaç yüklemesi yapılarak salım performansları incelenmiştir. Model ilaç olarak antikanser ilacı 5-Fluorourasil (5-Fu) seçilmiştir. Sentezlenen filmlerin kimyasal bağ yapıları Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) ile belirlenmiştir. Polimerlerin birbiri ile uyumu, karışabilirliği, eklenen katkının dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM analizi) ile görüntülenmiştir. İlaç salımında filmlerin şişme derecesi önemli olduğu için suda şişme testleri yapılmıştır. Grafen oksit miktarı arttıkça başlangıçta şişme derecesi artmış ardından düşme eğilimi göstermiştir. %20 grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropil metilselüloz biyanokompozit filmde %321.68 şişme derecesi gözlenirken, %30 grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropil metilselüloz biyanokompozit filmde %248.95 şişme derecesi göstermiştir. İlaç tutuklama verimi grafen oksit miktarı arttıkça çok az artış göstermiştir. En yüksek ilaç tutuklama verimi 12 saatin sonunda %30 grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropil metilselüloz biyanokompozit filmde %69.90 olarak elde edilmiştir. Aynı özellikteki filmde ilaç salım yüzdesi de 4 günün sonunda %9.87 olarak elde edilmiştir. İlaç salımına ortam pH'nın etkisi incelendiğinde en iyi ilaç salım ortamının pH=7.4 olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar sentezlenen filmlerin geliştirilebilir olduğunu grafen oksit miktarının artırılarak ilaç salım yüzdesinin artırılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Fluorourasil, Grafen Oksit, İlaç Salımı, Nanokompozit film.

Synthesis of Graphene Oxide Loaded Chitosan/ Hydroxypropyl Methylcellulose Bionanocomposite Films and Usage of Controlled Release of Anti-Cancer Drug 5- Fluorouracil

Abstract

Controlled drug release systems have attracted a lot of attention in recent years in order to minimize the amount of drug used, to extend the period of taking drugs, and to eliminate the side effects that may occur during treatment. The main aim for using drug release is to provide a more effective treatment method. In this study, bionanocomposite films were synthesized for controlled drug release. Chitosan and hydroxypropyl methyl cellulose were used as biobased polymers. The release performances of graphene oxide loaded films were investigated by drug loading on the films. The anticancer drug 5-Fluorouracil was chosen as the model drug. Chemical bond structures of the synthesized films were determined by Fourier transform infrared (FTIR). Compatibility, miscibility and distribution of the added additives were observed by scanning electron microscopy (SEM analysis). The water swelling tests were performed because of the importance of the degree of swelling of the films in drug release. As the amount of graphene oxide increased, the degree of swelling initially increased and then tended to decrease. While a swelling degree of 321.68% was observed in the 20% graphene oxide loaded

*Sorumlu Yazar: derya.unlu@btu.edu.tr

chitosan/hydroxypropyl methylcellulose bionanocomposite film, it was 248% in the 30% graphene oxide loaded chitosan/hydroxypropyl methylcellulose bionanocomposite film. The drug encapsulation efficiency increased slightly as the amount of graphene oxide increased. The highest drug encapsulation efficiency was obtained as 69.90% in 30% graphene oxide loaded chitosan hydroxypropyl methylcellulose bionanocomposite film at the end of the 12 hours. The percentage of drug release in the same film was obtained as 9.87% at the end of 4 days. The best drug release medium was determined as pH=7.4. The results obtained showed that the synthesized films could be improved and the percentage of drug release could be increased by increasing the amount of graphene oxide.

Keywords: Drug release, Fluorouracil, Graphene oxide, Nanocomposite film.

1. Giriş

Kontrollü salım sistemi, belirlenen/istenilen bir süre zarfında istenilen bir hız ile ilacın salımını gerçekleştirmektedir. Uzunca bir süredir, vücudun bazı kısımlarına bırakılan ilacın ya da uzun zamanlı ilaç salım hızını kontrol edebilen salım sistemlerinin ortaya çıkarılması için birtakım çalışmalar yürütülmektedir. Fakat sadece son birkaç yıldaki çalışmalardan istenilen sonuç alınarak çalışmalarda ilerleme kaydedilmiştir. Oldukça kısa bir süre zarfında geliştirilmiş olan salım sistemleri tıbbın birçok alanında (kardiyoloji, oftalmoloji, endokrinoloji, immünoji ve onkoloji) faaliyete geçmiştir.

Kontrollü ilaç salımı;

- ✓ Tedavi edici seviyede ilaç miktarının sabit tutulması,
- ✓ Salımın belirlenmiş bir yere yapılabilmesi sebebiyle istenmeyen sonuçların minimum düzeye çekilmesi,
- ✓ Gerekli olan ilaç seviyesinin düşürülebilmesi,
- ✓ Kullanılması gereken ilaçlara hastanın uyum sağlayabilecek şekilde dozaj seviyesinde değişim yapılabilmesi,
- ✓ Kısa yarılanma ömrüne sahip ilaçlar için ilaç yönetiminin basitleştirilmesi

gibi avantajlara sahiptir (Yalçın, 2011). Özellikle tedavi aşamasında yan etkilere de neden olan ilaçların hedef bölgeye kontrollü salımı büyük öneme sahiptir. Bu ilaçlardan biri kanser tedavisinde kullanılan 5-Fluorourasil'dir.

5-Fluorourasil tümör hücrelerinin, normal hücrelere göre urasili daha fazla kullandığının belirlenmesi ile sentezlenen ve ilaç haline getirilen pirimidin bazlı bir yapıdır (Özkan, 2012).. Kolon, mide, meme ve pankreas kanserlerinin tedavisinde kullanılan yarılanma ömrü kısa olan bir ilaçtır. Yarılanma ömrü kısa olduğu için ilacın antitümör etki gösterebilmesi yüksek dozda ilaç verilmesi ile mümkündür. Ancak ilacın toksik özelliği mide-bağırsak zehirlenmeleri, şiddetli kemik ağrıları gibi ağır yan etkilere neden olabilmektedir (Arias vd. 2008; Azhar ve Olad, 2014; Zhang vd. 2008). Başarılı bir tedavi için yan etkilerin üstesinden gelmek oldukça önemlidir; bu da, ilacın biyopolimerik sistemlerde kontrollü salımı ile sağlanabilir.

Bu çalışmada da biyopolimer olarak kitosan ve hidroksipropilmetilselüloz kullanılarak filmler sentezlenmiş ve ilaç salım performansları incelenmiştir. Kitosan, kabuklu deniz canlılarının (yengeç, karides vb.) iskelet yapılarında, mantarların hücre yapısında ve kelebeklerin kanatlarında bulunan doğal polisakaritlerdendir. Herhangi bir zehirli etkisinin bulunmaması, alerji ve tahriş edici olmamasıyla beraber, biyobozunabilir ve biyoyeçirgen olması farmosetik ve medikal sektöründe kitosanı değerli bir biyomalzeme yapmaktadır (Duman ve Şenel, 2004). Hidroksipropil metilselüloz (HPMC), kontrollü ilaç salım sistemlerinde kullanılan en önemli hidrofilik taşıyıcı malzemelerden biridir. İlaç salımında tercih edilmesinin en önemli nedeni yüksek şişme özelliği göstermesidir. Biyolojik sıvı ile temas ettiğinde, haciminin artması polimer zincirinin esnemesi

ve zincirler arasındaki boşlukların artması ile sonuçlanır. Bununla birlikte yapıda bulunan ilaç sistemden salınır. Ayrıca sahip oldukları yüksek yüzey aktivitesi de ilaç yükleme özelliğini iyileştirmektedir (Pingping vd. 2018; Siepmann ve Peppas, 2012).

Grafen oksit (GO) büyük miktarda ilacın yüklenebileceği bir taşıyıcı olduğu yapılan araştırmalarla ispatlanmış ve GO'nun potansiyel bir ilaç taşıyıcısı olduğu sonucuna varılmıştır. GO bir tür iki boyutlu monatomik karbon allotropudur. GO; epoksi grupları, hidroksil grupları ve karboksil grupları gibi çok sayıda fonksiyonel grup içerir. Bu fonksiyonel gruplar GO'ın ilaç adsorpsiyon kabiliyetini ve polimerik hidrojellerin mekanik mukavemetini artırır. Sulu ortamlarda mükemmel dağılıbilirlik, düşük toksisite, geniş özgül yüzey alanı ve farklı adsorbantlarla güçlü elektrostatik etkileşimler, GO'nun ilaç salımı için gelecek vaad eden bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Jafari vd. 2020; Wang vd. 2018).

Bu çalışmada da grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropil metilselüloz biyonanokompozit filmler sentezlenerek ilaç salım performansları incelenmiştir. Sentezlenen filmlerin kimyasal bağ yapıları ve morfolojik yapıları karakterize edilmiştir. Ardından filmlerin şişme özellikleri test edilmiş ve şişme performansları belirlenmiştir. İlaç yükleme işlemi yapılarak sonrasında salım performansları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bentonit yüklü kitosan/hidroksipropil metilselüloz biyonanokompozit filmlerin 5-Fluorourasilin kontrollü salımı için iyi bir aday olduğunu göstermektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

Anti-kanser ilacı etken maddesi 5-Fluorourasil Abcr firmasından satın alınmıştır. Nanokompzite film hazırlama polimerlerinden kitosan Sigma Aldrich, Hidroksipropilmetilselüloz Kimetsan Kimya'dan temin edilmiştir. Kitosanı çözmek için kullanılan asetik asit Merck'ten satın alınmıştır. Filmleri çapraz bağlamada kullanılacak çapraz bağ ajanı glutaraldehit Sigma Aldrich 'den ve solvent aseton Merck'ten tedarik edilmiştir. pH=7.4'teki fosfat tampon çözeltisi ise Sigma Aldrich 'den satın alınmıştır. Grafen oksit ise Hazerfen Kimya Malzeme ve Enerji Teknolojileri Sanayi Ticaret A.Ş.'ten temin edilmiştir.

2.2. Grafen Oksit Katkılı Kitosan/Hidroksipropil Metilselüloz Biyonanokompozit Film Sentezi

Ağırlıkça %1 kitosan, hacimce %1 asetik asit içeren sulu çözeltide çözünmüştür. Ağırlıkça %1 Hidroksipropilmetilselüloz (HPMC) da bir başka kapta su içerisinde karıştırılarak bir gece çözünmeye bırakılmıştır. Ağırlıkça %1 kitosan içeren çözeltiden belirli bir miktar behere alınarak. çözelti içerisine polimer ağırlığının belirli oranlarında grafen oksit eklenmiştir. Ardından ağırlıkça %1 HPMC içeren çözeltiden kitosan çözeltisine 40 °C'de karıştırılarak eklenmiştir. Hazırlanan çözelti temiz pürüzsüz yüzeye dökülerek 25 °C'de 24 saat kurutmuştur. Daha

sonra 1 ml glutaraldehit (GA) 1 ml HCl içeren %85 aseton- %15 su karışımında çapraz bağlanmıştır (Calvo vd. 2018).

2.3. Biyanokompozit Film Karakterizasyonu

Sentezlenen biyanokompozit filmlerin morfolojik özellikleri Taramalı Elektron Mikroskopi ile analiz edilmiştir. Kimyasal bağ yapıları ise FTIR ile belirlenmiştir. FTIR analizi Perkin Elmer-Spectrum Two marka cihaz ile yapılmıştır. Analiz 650-4000 cm^{-1} aralığında 4 tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Filmlerin SEM analizleri Carl Zeiss / Gemini 300 model mikroskop ile yapılmıştır. Örnekler sıvı azot ile kırılarak hazırlanmıştır. Numuneler SEM'de incelenmeden iletkenliği sağlamak amaçlı önce karbon bant üzerine konulmuş ve altın-paladyum ile kaplanmıştır.

2.4. Şişme Testleri

Kuru ağırlığı bilinen film numuneleri fosfat tamponu (pH 7.4) banyosunda oda sıcaklığında 24 saat boyunca dengeye ulaşması için bırakılmıştır. Ardından filmler su sorpsiyon kapasitelerini belirlemek için suyun içerisine bırakılarak belirli aralıklarla ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir. Filmlerin şişme dereceleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SD = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

W_s şişmiş filmin ağırlığını, W_d kuru filmin ağırlığını, SD ise sorpsiyon derecesini göstermektedir.

2.5. 5-Fluorourasil Yükleme ve Enkapsülasyon Verimi

Biyonokompozit filmlere ilaç yükleme işlemi şişme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Belirli ağırlıktaki filmler oda sıcaklığında 24 saat boyunca belirli hacimdeki 5-Fluorourasil içeren ilaç çözeltisinde (X mg 5-Fluorourasil, hacimce %20 aseton ve %30 distile su) şişmeye bırakılmıştır. 5-Fluorourasilin enkapsülasyon verimliliği spektrofotometrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir. İlaç yüklü filmler, fosfat tampon çözeltisine yerleştirilmiş ve ilacı filmlerden özütmek için 4 gün süreyle kuvvetli bir şekilde karıştırılmıştır. 4 günün sonunda salımın gerçekleştiği çözelti alınarak 266 nm absorpsiyon değeri UV spektrofotometre kullanılarak analiz edilmiştir (Reddy vd. 2016). İlaç yükleme (enkapsülasyon verimliliğinin) sonuçları Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanacaktır.

$$\text{Enkapsülasyon verimi (\%)} = \frac{\% \text{ Gerçek yükleme}}{\% \text{ Teorik yükleme}} \times 100 \quad (2)$$

salınan 5-Fu miktarı ile ilişkilendirilmiştir. Böylece filmlerin ilaç salım performansları belirlenmiştir (Reddy vd. 2016).

2.6. 5-Fluorourasil Salımı

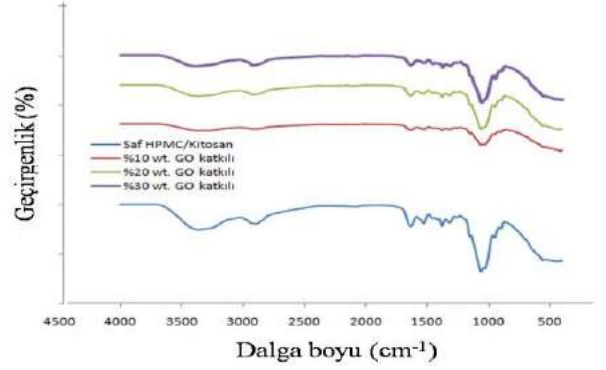
5-Fluorourasil yüklü biyanokompozit filmlerden 5-Fluorourasilin kontrollü salım çalışmalarında bilinen ağırlıklarda filmler 7.4 pH değerindeki fosfat tampon çözeltisine bırakılarak ilaç salım performansları incelenmiştir. Belirli zaman aralıklarında fosfat tampon çözeltisinden numune alınıp 266 nm'de UV ile analiz edilerek absorpsiyon değeri kaydedilmiştir. Kaydedilen absorpsiyon değeri kalibrasyon grafiği kullanılarak

salınan 5-Fu miktarı ile ilişkilendirilmiştir. Böylece filmlerin ilaç salım performansları belirlenmiştir (Reddy vd. 2016).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Biyanokompozit Filmlerin Karakterizasyon Sonuçları

Saf kitosan/hidroksipropilmetilselüloz film ve grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropil metilselüloz biyanokompozit filmlerin FTIR spektrarı Şekil 1'de gösterilmektedir.

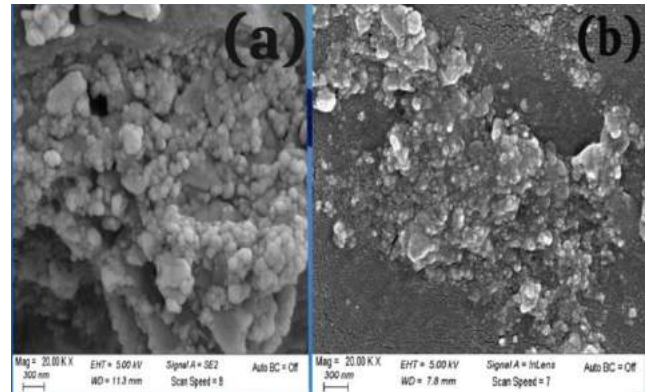


Şekil 1. Grafen Oksit Katkılı Filmlerin FT-IR Grafiği

3450 cm^{-1} deki güçlü absorpsiyon bandı, yüzey hidroksil gruplarına ve adsorbe edilmiş suya ait O-H gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. 1630 cm^{-1} 'de $\text{C}=\text{C}$ bağları görülmektedir. 1000–1700 cm^{-1} aralığındaki GO'in çoklu pikleri, oksijen içeren fonksiyonel gruplara karşılık gelmektedir. 1630 cm^{-1} deki pik, karboksil ve karbonil bölgelerindeki $\text{C}=\text{O}$ 'nun titreşimi ile ilgilidir. 1500 cm^{-1} deki pik kitosandaki amin gruplarının N-H titreşimlerine karşılık gelir. 1050 cm^{-1} 'deki pik $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ bağlarının varlığını işaret eder. 1400 cm^{-1} ve 1200 cm^{-1} 'deki bant $\text{C}-\text{OH}$ grubuna karşılık gelir (Veerapur vd. 2007).

Ancak kompozit membran üzerine GO ilavesinin düşükleme oranlarında katkısız film ile neredeyse aynı olduğu söylenebilir. Bu durumun örneğine literatürde de rastlanmıştır (Lin vd. 2017).

Şekil 2'de grafen oksit katkılı filmlerin kesit ve yüzey SEM görüntüsü görülmektedir.

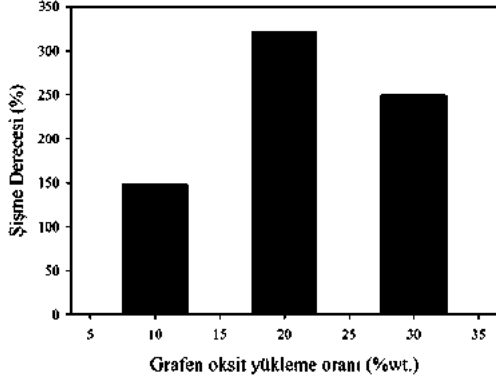


Şekil 2. (a) Grafen oksit katkılı filmlerin kesit SEM görüntüsü, (b) yüzey SEM görüntüsü

Grafen oksitin polimer matrisi içerisinde oldukça yoğun bir şekilde dağıldığı, ancak yüzey görüntüsüne bakıldığında bazı noktalarda topaklaşmalar sergilediği görülmektedir.

3.2. Grafen Oksit Katkılı Filmlerin Şişme Davranışları

Şişme davranışları incelenen filmlerin şişme yüzdeleri Şekil 3'te görülmektedir. Şişme deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



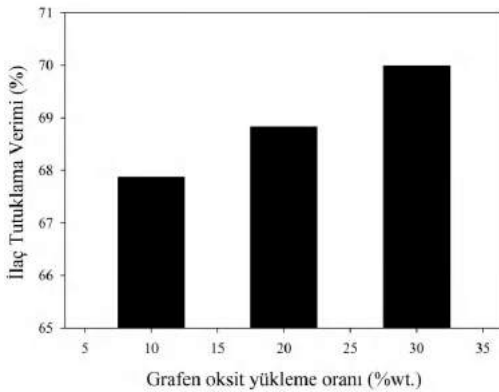
Şekil 3. Grafen Oksit Miktarının Şişme Derecesine Etkisi

GO'nun hidrofobik bölgesi ve partiküllerinin boyutu nedeniyle, grafen oksit katkılı biyonanokompozit filmlerde grafen oksit miktarı arttıkça şişme derecesinde bir azalma gerçekleşir.

GO yapısı dört farklı fonksiyonel grup içerir: karbonil, karboksilik, hidroksil ve epoksi grupları. GO yüzeyi, bu oksijen içeren fonksiyonel gruplar nedeniyle negatif yük ile yüklenmiştir. Doğrudan su ile şişme testi yapıldığında da filmlerin yüzeyindeki grafen oksit kaynaklı negatif yükler su moleküllerinin itilmesini sağladığından dolayı ağırlıkça %30 GO eklendiğine filmin şişme derecesi azalmıştır. Şişmedeki azalma aynı zamanda filmin difüzyon kanallarını dolduran ve serbest suyun yerini alan grafen parçacıkları ile de ilgilidir, bu da rehidrasyon sürecini daha zor hale getirir. Grafen oksitin filmde polimer matrisi doldurduğu SEM görüntüleri ile de desteklenmektedir (Arruda vd. 2020).

3.3. Grafen Oksit Katkılı Filmlerin İlaç Yükleme Çalışmaları

Şekil 4'te görülen ilaç yüklemesi yapılmış grafen oksit katkılı filmlerin ilaç yükleme oranlarına bakarak aralarında çok küçük farklar olsa da filmlerdeki grafen oksit miktarıyla ilaç tutuklama verimi arasında doğru orantılı bir ilişki mevcuttur.



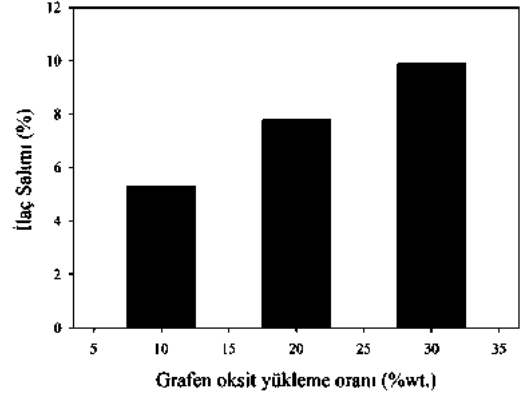
Şekil 4. Grafen Oksit Miktarının İlaç Tutuklama Verimine Etkisi

5-FU ve film içerisindeki hem GO'ten hem de kitosan ve HPMC'den kaynaklı hidrojen bağı, 5-FU'nun tutuklanma veriminde önemli rol oynar (Wang vd. 2013). Ayrıca, 5-FU'nun

yüzey aktivitesi ve çözelti işlenebilirliğinden dolayı, GO ile kovalent ve kovalent olmayan bağlar oluşturmaya çok uygun hidroksiller, epoksiler, karboniller ve karboksilik asit grupları gibi birçok oksijen içeren fonksiyonel grupları içerir (Wang vd. 2014).

3.4. Grafen Oksit Katkılı Filmlerin İlaç Salım Çalışmaları

İlaç yüklenen filmler 20 mL fosfat tampon çözeltisine bırakılarak 4 gün boyunca çalkalayıcıda karıştıktan sonra ilaç salımına bırakılmış ve 4. günün sonunda Şekil 5'te ilaç salım yüzdeleri sunulan filmler çözeltiden çıkarılıp fosfat tampon çözeltisine saldırdığı ilaç miktarı yine çözeltilerin UV ile absorbansı ölçülerek belirlenmiştir.

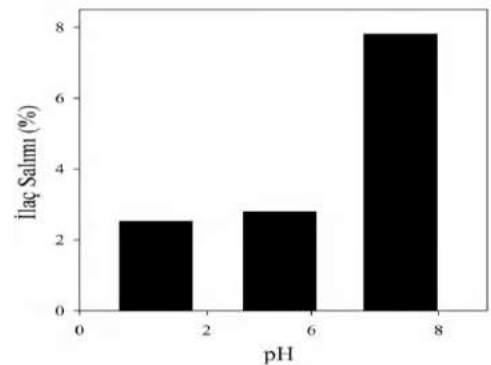


Şekil 5. Grafen Oksit Miktarının İlaç Salımına Etkisi

Grafen katkılı filmler yapıdaki grafenden dolayı, hidrojen bağı, hidrofobik ve elektrostatik etkileşimler ve bunun yanı sıra ile kovalent olmayan bağlanma karakteristiklerinden dolayı kontrollü ilaç salım sistemleri için önemli bir alternatiftir. Grafen yüzeyinin lipofilik (yağ sever) yapısı, 5-Fu'nun yüklenmesinde iyi bir etkileşim oluşmasını sağlamaktadır. Grafen katkılı filmlerin ilaç salım yüzdesi bentonit katkılı filmlere kıyasla düşüktür. Bunun sebebi, grafenin yüksek yüzey alanı ve hidrofobik etki gösteren 5-Fu'nun, güçlü π - π istifleme etkileşimi yoluyla grafen katkılı filmlere etkili bir şekilde yüklenmesi olarak düşünülmektedir. Ancak daha uzun sürelerde salımı incelendiğinde polimer matrisi oluşturan kitosan ve HPMC'nin şişmesi, polimerin difüzyon kanallarını genişlettiğinden dolayı 4 günün sonunda ilaç salımı artış göstermiştir.

3.4.1. pH'ın İlaç Salımına Etkisi

pH ilaç salımına önemli derecede etki etmektedir. Şekil 6'da pH'ın ilaç salım yüzdesine etkisi görülmektedir.



Şekil 6. pH Etkisinin İlaç Salımına Etkisi

Grafen oksit yüklü filmlerde pH arttıkça ilaç salımının arttığı gözlenmiştir. Grafen oksit yüklü filmlerin pH=7.4'te 4 günün sonunda %7.8 düşük ilaç salım yüzdesi sergilediği görülmüştür. Bu durum grafen oksitin yapısında bulunan 5-Fu ile kovalent ve kovalent olmayan bağlar oluşturmaya çok uygun hidroksiller, epoksiler, karboniller ve karboksilik asitler gibi birçok oksijen içeren fonksiyonel grupların varlığı ile açıklanabilir. Grafen oksitin iyi bir ilaç bağlayıcı özellik göstermesi, 5-Fu'in salımını azaltmıştır (Wang vd. 2014).

4. Sonuç

Çözeltiden döküm ve solvent buharlaştırma tekniği ile grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropilmetilselüloz biyonanokompozit filmler hazırlanarak anti kanser ilacı 5-Fluorourasilin salım performansı incelenmiştir. Hazırlanan filmlerin karakterizasyon testleri sonucunda grafen oksitin kitosan/hidroksipropilmetilselüloz filmlere başarılı bir şekilde eklendiği sonucuna ulaşılmıştır. Grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropilmetilselüloz filmlerin ilaç tutuklama verimliliği, film içindeki grafen oksit miktarı arttıkça artış göstermiştir. Benzer şekilde salım yüzdesi de grafen oksit içeriği arttıkça artmıştır. Dört günün sonunda %30 grafen oksit yüklü film, %10 ilaç salım performansı göstermiştir. pH etkisi incelendiğinde de en iyi ilaç salım ortamının pH=7.4 olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar kontrollü salım için grafen oksit katkılı kitosan/hidroksipropilmetilselüloz biyonanokompozit filmlerin kullanılabilirliğini göstermiştir. 5-Fluorourasil gibi biyolojik yarılanma ömrü oldukça kısa ve salımı çok hızlı olan ilaçlar için geliştirilen biyonanokompozit film önemli bir alternatif olarak değerlendirilebilecektir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 2209-A projesi kapsamında maddi olarak desteklenmiştir.

Kaynakça

- Arias, J.L., Ruiz, M.A., López-Viota, M., Delgado, A.V. (2008). Poly(alkylcyanoacrylate) colloidal particles as vehicles for antitumor drug delivery: a comparative study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62, 64-70.
- Arruda, M. N., Souza, C. B., Eugênio, K. F. R., De, M. S., Gonçalves, E. S. (2020). Influence of swelling level on charge transmission of chitosan and reduced graphene oxide film electrodes. *Materials Chemistry and Physics*, 255, 123623.
- Azhar, F.F., A. Olad, (2014). A study on sustained release formulations for oral delivery of 5-fluorouracil based on alginate-chitosan/montmorillonite nanocomposite systems. *Applied Clay Science*, 101, 288-296.
- Calvo, N. L., Svetaz, L. A., Alvarez, V.A., Quiroga, A. D., Lamas, M. C., Leonardi, D. (2018). Chitosan-hydroxypropyl methylcellulose tioconazole films: A promising alternative dosage form for the treatment of vaginal candidiasis. *International Journal of Pharmaceutics*, 556, 181-191.
- Duman, S.S., Şenel, S. (2004). Kitosan ve veteriner alandaki uygulamaları, *Veteriner Cerrahi Dergisi*, 10, 62-72.
- Jafari, Z., Rad, A.S., Baharfar, R., Asghari, S., Esfahani, M.R. (2020). Synthesis and application of chitosan/tripolyphosphate/graphene oxide hydrogel as a new

- drug delivery system for Sumatriptan Succinate. *Journal of Molecular Liquids*, 315, 113835.
- Lin, Y.K., Nguyen, V.H., Yu, J. C.C., Lee, C.W., Deng, Y.H., Wu, J. C. S., Chen, C.L. (2017). Biodiesel production by pervaporation-assisted esterification and pre-esterification using graphene oxide/chitosan composite membranes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 79, 23-30.
- Özkan, M.Ç. (2012). Topikal 5-Fluorourasil Uygulamasının Epinörektomi Yapılan Sıçan Siyatik Sinir Çevresinde Skar Dokusu Oluşumu Üzerine Etkisinin Araştırılması, *Uzmanlık Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
- Pingping, S., Yuying, W., Xueming, Z., Zhongya, Y., Meng, W., Feng, X. (2018). Preparation of Covalently Crosslinked Sodium Alginate/Hydroxypropyl Methylcellulose pH-Sensitive Microspheres for Controlled Drug Release. *BioResources*, 13, 8614-8628.
- Siepmann, J., Peppas, N.A. (2012). Modeling of drug release from delivery systems based on hydroxypropyl methylcellulose (HPMC). *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64, 163-174.
- Reddy, A., Babul, M.B., Jayaramudu, T., Sadiku, E. R., Anand, B.P., Periyar, S.S. (2016). 5-Fluorouracil Loaded Chitosan-PVA/Na+MMT Nanocomposite Films for Drug Release and Antimicrobial Activity. *Nano-Micro Letters*, 8, 260-269.
- Veerapur, R. S., Gudasi, K. B., Aminabhavi, T. M. (2007). Pervaporation dehydration of isopropanol using blend membranes of chitosan and hydroxypropyl cellulose. *Journal of Membrane Science*, 304, 102-111.
- Wang, C., Zhang, Z., Chen, B., Gu, L., Li, Y., Yu, S. (2018). Design and evaluation of galactosylated chitosan/graphene oxide nanoparticles as a drug delivery system. *Journal of Colloid and Interface Science*. 516, 332-341.
- Wang, J., Liu, C., Shuai, Y., Cui, X., Nie, L. (2014). Controlled release of anticancer drug using graphene oxide as a drug-binding effector in konjac glucomannan/sodium alginate hydrogels. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 113, 223-229.
- Wang, G., Chen, G., Wei, Z., Dong, X., Qi, M. (2013). Multifunctional Fe₃O₄/graphene oxide nanocomposites for magnetic resonance imaging and drug delivery, *Materials Chemistry and Physics*, 141, 997-1004.
- Yalçın, A. (2011). Manyetik alana duyarlı jelatin - hidrojellerin hazırlanması ve ilaç salımı profilinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Zhang, N., Yin, Y., Xu, S.J., Chen, W.S. (2008). 5-Fluorouracil: mechanisms of resistance and reversal strategies. *Molecules*, 13, 1551-1569.



Serbest Form Yüzeye Sahip Parçaların Üretim Nedenli Hata Miktarlarının Robot Kol Yardımlı Lazer Sensör ile Tespiti

Abdulkadir Çebi ^{1*}, Muhammed Turan Aslan ², Hasan Demirtaş ³

^{1*} Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID ID 0000-0002-3074-6554), abdulkadir.cebi@samsun.edu.tr

² Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID ID 0000-0002-9713-4763), muhammedturan.aslan@samsun.edu.tr

³ Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID ID 0000-0001-6067-9674), hasan.demirtas@samsun.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013033)

ATIF/REFERENCE: Çebi, A., Aslan, M. T. & Demirtaş, H. (2021). Serbest Form Yüzeye Sahip Parçaların Üretim Nedenli Hata Miktarlarının Robot Kol Yardımlı Lazer Sensör ile Tespiti. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 1126-1132

Öz

3 boyutlu parçaların imalatında, hata miktarlarının tespiti için köprü tip CMM, gantry tip CMM ve yatay kollu CMM gibi yöntem kullanılmaktadır. Endüstride kullanılan koordinat ölçüm cihazları yüksek hassasiyete sahip olmalarına rağmen yüksek fiyat ve düşük hız gibi dezavantajlara sahiptir. Bu çalışmada endüstride kullanılan ölçüm yöntemlerine alternatif oluşturmak amaçlanmaktadır. Serbest form yüzeye sahip metal parçaların imalatı sırasında gerçekleşen hata miktarları, robot kol üzerinde bulunan lazer sensör ile noktasal tespit edilmiştir. Ölçümler için robot kolun hareket şekli, lazer sensörün ölçüm aldığı nokta sayısı ve lazer sensörün iş parçasına olan referans uzaklığı olmak üzere 3 farklı değişken kullanılmıştır. Değişkenlere ait veriler RobotStudio ortamına aktarılmış, deneyler simülasyon motorunda incelenmiş ve deneylere ait RAPID kodları elde edilmiştir. Yüksek hassasiyete sahip lazer sensör ile 27 deney şartı için noktasal tespit yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar numunenin CAD modeli ile karşılaştırılıp, üretimde gerçekleşen hata miktarı mikrometre (μm) olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen hata miktarları ise CMM cihazından alınan hata miktarları ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar MATLAB ortamında oluşturulan grafiklerle incelenmiştir. Nokta sayısının en az olduğu durumlarda standart sapmanın 54,51 ile 74,38 arasında değiştiği ve ölçümün daha homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Ortalama hata miktarının ise artan nokta sayısı ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada alternatif olarak sunulan yöntemin iyileştirilmesi durumunda, serbest form yüzeye sahip metaller için CMM cihazları yerine kullanılabilirliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Lazer sensör, robot kol, serbest form yüzey, kalite kontrol.

Detection of Production Caused Errors of Freeform Surfaces with Robotic Arm Supported Laser Sensor

Abstract

In the manufacture of 3 dimensional parts, a method such as bridge type CMM, gantry type CMM and horizontal arm CMM is used to detect errors. The coordinate measuring machines used in the industry have high accuracy but have disadvantages such as high price and low speed. In this study, it is aimed to create an alternative to the measurement methods used in the industry. The errors that occur during the production of freeform surfaces metal parts are determined point by the laser sensor attached to the end of the robot arms. Three different variables are used for the measurements: the path of the robot arm, the number of points, and the reference distance of the laser sensor to the workpiece. Data from variables has been transferred to RobotStudio, experiments are simulated, and RAPID codes are obtained. The high-precision laser sensor is used to point-detect 27 experiment conditions. The results from the experiment conditions are compared to the CAD model of the workpiece and the errors in production are determined as micrometers (μm). The results are analyzed by graphs in MATLAB. It is observed that the.

Keywords: Laser sensor, robot arm, freeform surface, quality control.

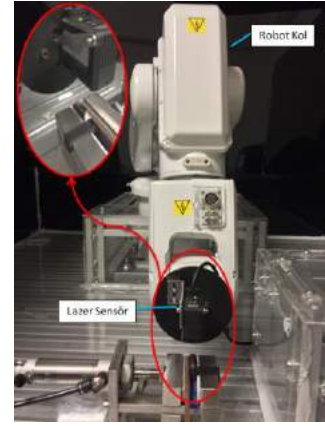
1. Giriş

İmalat endüstrisinde; üretilen iş parçalarının boyutsal olarak tasarımı olan uygunluklarının kontrol edilmesi, imalat sonrası sürecin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Germani, Mandorli, Mengoni ve Raffaelli, 2010; Huang & Qian, 2007; Hwang, Tsai & Chang, 2004; Kruth, Van Gestel, Bleys & Welkenhuyzen, 2009; Li & Gu, 2004; Lee, Mou & Shen, 1997; Lee & Park, 2000; Martins, Garcia Bermeio, Casanova & Gonzalez, 2005). CMM cihazları endüstride iş parçalarının boyutsal kontrolü için standart bir araç haline gelmiştir. Parçaların boyutsal kontrolünde geometrinin karmaşıklığı ve hassasiyet ile ilgili beklentiler arttıkça, gelişmiş ölçümler elde etmek için farklı sensörleri birleştiren çok sensörlü cihazlar kullanılmaktadır (Weckenmann, 2009). Özellikle lazer tarayıcılar ile temasa dayalı ölçüm uçlarının birbirlerini tamamlayıcı olmalarından dolayı (Nashman, Yoshimi, Hong & Rippey, 1997), birlikte kullanılmaları oldukça yaygındır (Huang & Qian, 2007; Bradley & Chan, 2001; Carbone, Carocci, Savio ve Sansoni, 2001; Shen, Huang & Menq, 2001). Birden fazla sensörün kullanıldığı CMM cihazları, karmaşık geometrilerin koordinatlarının yüksek doğrulukta tespiti için kullanışlıdır. Ancak, bu ölçüm sisteminde farklı sensör türlerinin sisteme entegre edilmesi için planlı bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Zhao vd. (2012) yaptıkları çalışmada temaslı ölçüm ucu ile bir lazer tarayıcıyı birleştirerek CMM denetimi için otomatik olarak denetim planları oluşturabilen bir metodoloji sunmuşlardır. Temas ile gerçekleşen boyutsal denetime yönelik uygulamalar, çelik gibi sert malzemeler ile yapılmış parçalar ile sınırlı olmasından dolayı Cheng & Menq (1995) lazer sensör ve CMM cihazını birleştirerek yumuşak malzemelerden yapılmış nesnelerin 3B koordinatını hesaplayan bir sistem geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalara benzer olarak, özellikle üretim hattında karmaşık geometriye sahip parçaların CAD modellerinin mevcut olmaması durumunda tersine mühendisliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalar incelendiğinde Deng, Shark, Matuszewski, Smith & Cavaccini (2004) yaptıkları çalışmada, havacılık endüstrisinde kullanılan karmaşık geometrik şekillere ve kavisli yüzeylere sahip yapıların CAD modellerinden alınan bilgiler doğrultusunda yüzey kusurlarının 3B görselleştirebilen bir yazılım paketi sunmuşlardır. 3B temassız ölçüm sistemlerinde düşük hata toleransı beklenmektedir. Bu nedenle yüksek hassasiyetli hareket ve konumlandırılma kabiliyetlerine sahip endüstriyel robotlar, 3B temassız ölçüm sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Morozov, Pierce, MacLeod, Mineo & Summan, 2018; Heeshin, 2016; Hatwig, Reinhart & Zaeh, 2010; Idrobo-Pizo, Motta & Sampaio, 2019; Niola, Rossi, Sergio & Salvatore, 2010; Ren, Yin & Zhu, 2012; Li vd. 2011; Tzafestas, Raptis & Pantazopoulos, 1996; Hatwig, Minnerup, Zaeh & Reinhard, 2012; Shirinzadeh vd. 2010). Yapılan çalışmalar incelendiğinde; konfokal lazer taramalı sensör, 6 eksenli robot kolun üzerine monte edilerek düz yüzeyli numunelerdeki yüzey pürüzlülük miktarı ölçülmüştür (Fu vd., 2018). Shen & Zhu (2012), 3B lazer tarayıcı ve robot kol kullanarak oluşturdukları robotik sistem ile iş parçasının yüzey modeli oluşturmuşlardır. İmalat sürecinde üretimi iyileştirmek amacıyla 6 eksenli endüstriyel robot kolun ucuna lazer sensör entegre ederek kalite kontrolünün iyileştirilmesi hedeflenmiştir (Al Khawli, Anwar, Gan & Islam, 2021). Yapılan çalışmalar; lazer sensörlerin, endüstriyel robot kollar ile entegre çalışabildiği sistemler sayesinde, imalat sonrası süreçte ürün kontrolünün hassas bir şekilde yapılabilirliğini göstermektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmada, serbest yüzeye sahip metal parçaların imalatı

sırasında gerçekleşen hata miktarlarının, robot kol üzerinde bulunan lazer sensör ile noktasal tespiti hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada; endüstride kullanılan ölçüm yöntemlerine alternatif oluşturmak amacıyla, serbest form yüzeye sahip titanyum numunenin imalatı sonrasında gerçekleşen hata miktarlarının tespiti yapılmıştır. Hata miktarları için noktasal lazer sensör ile ölçümler yapılmış ve hesaplamalarla hata miktarları tespit edilmiştir. Numunenin üretimi sonrasında oluşan toleransın yüksek hassasiyet ile tespiti için lazer sensör; 6 eksen ve 10 µm hassasiyete sahip ABB IRB 120 model robot kolun üzerine bir aparat kullanılarak entegre edilmiştir. Oluşan bu sistem ile lazer sensöre 6 eksenli hareket kabiliyeti kazandırılmıştır. Şekil 1’de lazer sensörün robot kola entegre edilmesiyle oluşturulan robotik sistem düzeneği görülmektedir.



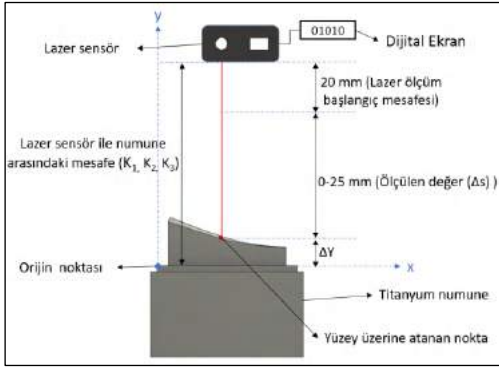
Şekil 1. Robotik sistem düzeneği

Tablo 1’de çalışmada kullanılan lazer sensör ve robot kolun teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Lazer sensör ve robot kolun özellikleri

Lazer Sensör	Özellik
Model	Keyence IL-030
Türü	Yarı iletken kırmızı lazer
	Dalga boyu: 655 nm (görünür ışık)
Sınıfı	Class 1 (FDA (CDRH) Part1040.10) Class 1 (IEC 60825-1)
Referans mesafesi	20 mm
Ölçüm aralığı	20-45 mm
Spot çapı (standart mesafede)	Yaklaşık 200x750 µm
Doğrusallık	%0,1 (25-30 mm aralığında)
Yinelenebilirlik	1 µm ⁻⁴
Örnekleme oranı	0.33/1/2/5 ms
Ağırlık	Yaklaşık 60 gram
Robot kol	Özellik
Model	ABB IRB 120
Eksen sayısı	6
Koruma	IP 30
Kontrolcü	IRC5 compact / IRC5 single cabinet
Hızlanma süresi 0-1 m/s	0.07 s
Pozisyon hassasiyeti	0.01 mm

Robot kol üzerine entegre edilmiş bir lazer ölçüm sistemi kullanılarak, nesnelerin konumunun 3B koordinat sisteminde yüksek oranda doğru ölçülebilmesi için çeşitli bileşenlerin önceden kalibre edilmesi gerekmektedir (Zhuang, Roth & Sudhakar, 1994; Zhuang, Wang & Roth, 1998). Bu amaçla numune üzerinde bir orijin noktası belirlenmiştir. Orijin noktası referans alınarak lazer sensör konumlandırılmıştır. Lazer sensörün orijin noktasına olan uzaklığı (K), lazerin teknik özelliğinden dolayı ölçüme başladığı mesafe, lazer sensörün belirlenen noktalardan ölçtüğü değer (Δs) ve yüzey geometrisini belirleyen nokta yüksekliği (ΔY) Şekil 2’de bulunan şemattiktedir.



Şekil 2. Numunenin lazer sensör ile ölçülmesinin şematik gösterimi

Şekil 2’de verilen bu mesafeler kullanılarak, Eşitlik 1’de yüzey geometrisini belirleyen nokta yüksekliği (ΔY) hesaplanmıştır. Bu işlem yüzey üzerinde belirlenen her nokta için gerçekleştirilmiştir.

$$\Delta Y = K - (20 + \Delta s) \quad (1)$$

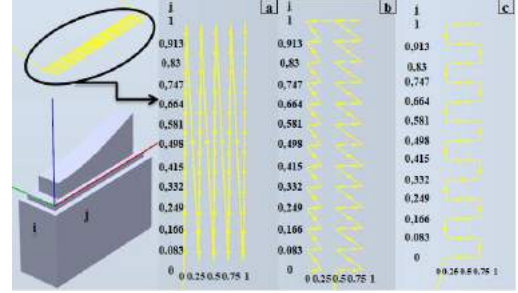
Kompresör kanatçık yüzeylerinin karmaşık geometriye sahip olması ve yüksek hassasiyetli üretime ihtiyaç duymasından dolayı deneylerde blisk geometrisi kullanılmıştır. Numunenin yüzeyi düzensiz temelli eğri yüzey yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Numunenin serbest forma sahip yüzeyinin 3B koordinat tespitinin yapılabilmesi için SolidWorks ortamında yüzeye belirli mesafelerde noktalar tanımlanmıştır. Her noktanın koordinatı numunenin orijin noktasına göre belirlenmiştir. Numunenin pnömatik mengenedeki konumu Flexpendant kullanılarak belirlenmiştir. Numunenin CAD modeli RobotStudio® ortamına aktarılmıştır. RobotStudio ortamında robot kolun, numunenin ve lazer sensörün konumlandırılmaları yapılmıştır. SolidWorks ortamında belirlenen noktalar kullanılarak hedefler oluşturulmuştur. Hedefler kullanılarak robot kolun hareketi için 3 farklı çizgisel yörüngeler (Yörünge I, Yörünge II, Yörünge III) oluşturulmuştur. RobotStudio ortamında oluşturulan çizgisel yörüngeler offset özelliği kullanılarak 3 farklı mesafe (42 mm, 44.5 mm, 47 mm) için tasarlanmıştır. Robot kolun hareket hızı, tüm deneyler için 5 m/s olarak belirlenmiştir. Noktalar arasındaki mesafe 1 mm altında olduğu için RobotStudio Zone özelliği, tüm deneyler için Z0 olarak belirlenmiştir.

Deney şartları RobotStudio ortamında simülasyon edilmiştir. Çizgisel yörüngelere ait RAPID kodları kontrol edilmiştir. RAPID kodları, IRC 5 robot kontrolcüsü ile robot kola aktararak lazer sensörün, çizgisel yörüngeleri takip edebilmesi sağlanmıştır.

Deneylerde kullanılan noktalar için, i eksenine 13 nokta ile sabit tutulmuştur. j eksenine ise 3, 4 ve 5 olarak değişken değerler tanımlanmıştır. Böylece 39, 52 ve 65 adet olmak üzere 3

farklı nokta sayısı elde edilmiştir. 3 farklı sayıda atanan noktalar ile robot kolun hareketi için 3 farklı çizgisel yörünge oluşturulmuştur.

6 eksenli robot kolun her ekseninde bulunan uzuvların uzunluğu, hareket sırasında yaptığı açı, güç tüketimi, sıcaklık (Paryanto vd., 2014) ve açısal hareketinin birbirinden farklı olmasından dolayı hareket hassasiyetinde farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle robot kolun izleyeceği hareket için 3 farklı çizgisel yörünge oluşturulmuştur. Şekil 3’te oluşturulan yörüngelerin geometrileri görülmektedir.



Şekil 3. Yörünge geometrileri a) I. yörünge b) II. yörünge c) III. Yörünge

Bu çalışmada; lazer sensörün ölçüm mesafesi ($K_{1,2,3}$), robot kolun izlediği çizgisel yörünge ve numune üzerine lazer sensör ile ölçüm almak için atanan nokta sayısı olmak üzere 3 adet farklı değişken kullanılmıştır. Her deney değişkeni için ise 3’er farklı değişken kullanılmış olup toplamda 27 adet deney yapılmıştır. Deney şartları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deney şartları

Deney No	Nokta Sayısı	Yörünge Şekli	Mesafe (mm)
1	39	I	42
2	39	I	44,5
3	39	I	47
4	52	I	42
5	52	I	44,5
6	52	I	47
7	65	I	42
8	65	I	44,5
9	65	I	47
10	39	II	42
11	39	II	44,5
12	39	II	47
13	52	II	42
14	52	II	44,5
15	52	II	47
16	65	II	42
17	65	II	44,5
18	65	II	47
19	39	III	42
20	39	III	44,5
21	39	III	47
22	52	III	42
23	52	III	44,5
24	52	III	47
25	65	III	42
26	65	III	44,5
27	65	III	47

Deney şartlarının numune değerleri ile kıyaslanabilmesi için numunenin boyutsal ölçüm değerleri LK-Integra model CMM ile ölçülmüştür. Boyutsal ölçüm değerleri için Camio 8.4 yazılımı kullanılmıştır. CMM cihazına ait özellikler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. CMM cihazı özellikleri

LK-Integra	Özellikler
Hacimsel Doğruluk	4,5 µm + L/200
Tekrarlanabilirlik	4,5 µm
Hız	533 mm/s
İvme	631 mm/s ²

Ölçümlere hata miktarların ortalaması hesaplanmıştır. Hesaplama Eşitlik (2) kullanılmıştır.

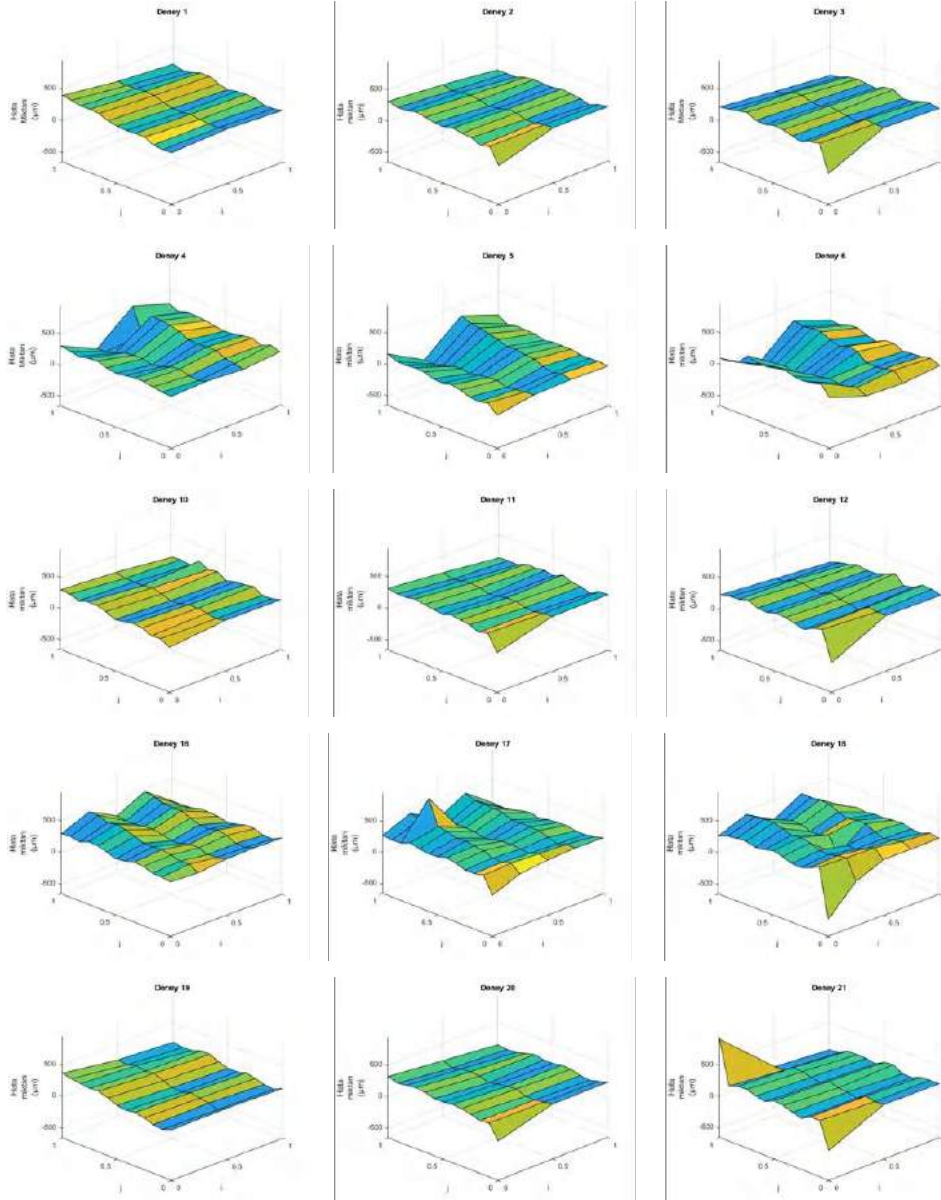
$$\text{Ortalama hata miktarı} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2)$$

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

CMM cihazında numune yüzeyinde noktalar belirlenip ölçümler temasa dayalı ölçüm uçları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda 5-106 µm hata miktarları elde edilmiştir. Hata miktarları; 0-20 µm, 20-50 µm, 50-80 ve 80-106 µm arasında gruplandırılmıştır. Hata miktarlarının yoğunlukları en azdan en fazla doğru; 80-106 µm, 0-20 µm, 50-80 µm, 20-50 µm olarak sıralanmıştır. Hata miktarlarının ortalaması alındığı zaman ise 55 µm değeri elde edilmiştir.

Numunenin CAD modelinden elde edilen noktaların serbest forma sahip yüzeye mesafesi ile her nokta için belirlenmiştir. Lazer sensör ölçümle elde edilen sonuçların CAD modelden elde edilen sonuçlara göre farkı µm olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar MATLAB ortamında 3 boyutlu grafiklere dönüştürülmüştür. Elde edilen sonuçların CAD modele benzerlik oranları yüzde olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2'de gösterilen deney şartına ait hata miktarlarının (µm) grafikleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Grafiklerdeki Z eksenini için sabit değer minimum -650 µm, maksimum 950 µm; X ve Y eksenleri için 0-1 arasında sabit tutulmuştur. Grafiklerde renk skalası kullanılmıştır.



Şekil 4. Deney şartlarına göre hata miktarı grafikleri

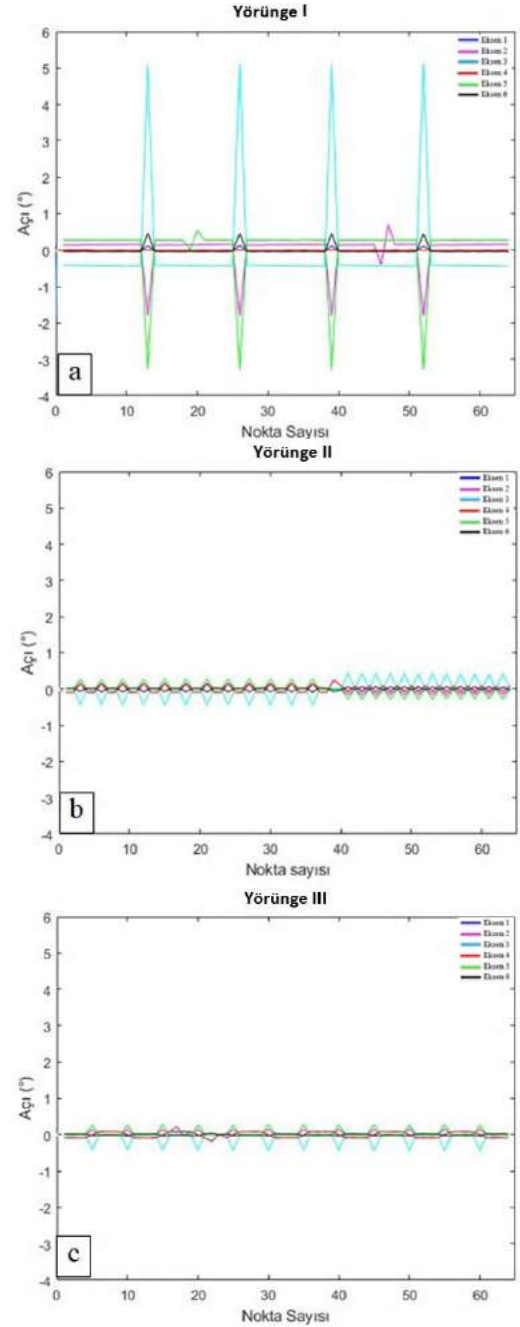
Grafiklere göre nokta sayısı arttıkça grafikte tahmin edilebilirliğin yani homojen dağılımın azaldığı görülmektedir. Nokta sayısının en az olduğu Deneysel 1-2-3-10-11-12-19-20-21 grafiklerinde homojen dağılım gözlemlenmiştir. Diğer deney şartlarının homojen bir dağılım göstermediği belirlenmiştir. Diğer deneyler nokta sayılarına göre kıyaslandığı zaman 52 noktaya ait Deneysel 4-5-6-13-14-15-22-23-24 grafiklerinin, 65 noktaya ait Deneysel 7-8-9-16-17-18-25-26-27 grafiklerine göre daha homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuca göre grafiklerdeki homojen dağılımın nokta sayısı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir.

Ortalama hata miktarları değerlendirildiğinde standart sapma değeri diğer deney şartlarına göre düşük olan deney 1-2-3-10-11-19-20 olduğu belirlenmiştir. Bu deney şartlarının 39 nokta sayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre ortalama hata miktarına göre en azdan en fazlaya doğru yörüngeler karşılaştırıldığında; Yörünge I, Yörünge III, Yörünge II olduğu belirlenmiştir. Yörüngeler standart sapma değerine göre karşılaştırıldığında; Yörünge I, Yörünge II, Yörünge III olarak sıralanmıştır. Yörünge I'in ortalama hata miktarı ve standart sapma değerleri için en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Yörünge II, Yörünge III'e göre daha düşük bir standart sapma değerine sahip olduğu için grafiklerde daha homojen bir dağılım göstermiştir. Buradan elde edilen sonuçlara göre, standart sapma değerinin homojen dağılımla ters orantıda bulunduğu belirlenmiştir.

39 nokta sayısında farklı mesafeler değerlendirildiğinde; Yörünge I'de 39 nokta için mesafe arttıkça ortalama hata miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı değişkenlere göre Yörünge II ve III için mesafenin arttıkça ortalama hata miktarlarında artış gözlemlenmiştir. 52 nokta için bütün yörüngeler benzer davranış göstermiştir. 65 nokta için Yörünge I'de mesafe arttıkça ortalama hata miktarında azalma olduğu belirlenmiştir. Aynı değişkenlerde Yörünge I ve II için mesafenin artması sonucu ortalama hata miktarı da artmıştır. Nokta sayısının ve mesafenin artırılması tüm deney şartlarında Yörünge II için CMM sonuçlarına en uzak değerleri vermiştir.

3 farklı mesafede ortalama hata miktarının değerlendirilmesi sonucunda mesafe arttıkça ortalama hata miktarının arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizgisel yörüngelerde oluşan farkları daha iyi inceleyebilmek için robot kolun her hareketi için 6 eksendeki açısal değişimleri hesaplanmıştır. 65 nokta için 3 farklı yörüngede ve 42 mm mesafede robot kolun 6 ekseninde açısal olarak yaptığı değişimler Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Robot kol eksen hareketleri a) I. Yörünge b) II. Yörünge c) III. Yörünge

65 noktaya göre 3 yörünge için eksen hareketleri incelendiğinde açı hareketlerinin -4° ile 6° arasında değişim göstermiştir. Numunenin i ve j eksenlerinde robot kol hareket ettiği belirlenmiştir. i ekseninde 2, 3 ve 5 numaralı robot eksenleri; j ekseninde 1, 4 ve 6 numaralı robot eksenleri kullandığı tespit edilmiştir.

Yörünge I'in eksen hareketleri incelendiğinde; her 13 noktada sadece 1 kez açısal değişim olduğu gözlemlenmiştir. i ekseninde hareketin olduğu 13.-26.-39.-42. noktalarında açısal değişimin olduğu belirlenmiştir. Diğer 61 nokta için açısal değişiminin 0'a yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ortalama hata miktarını ve standart sapma değerinin sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde; eksenlerdeki açısal değişimin en aza indirilmesi homojenliği ve hata miktarını azalttığı belirlenmiştir.

Yörünge II'deki eksen hareketleri incelendiğinde; i ve j eksenlerinde açılar 24 kez değiştiği belirlenmiştir. Açısal değişimler $-0,5^\circ$ ile $0,5^\circ$ arasında hesaplanmıştır. i ve j eksenlerindeki açısal değişimin sıklığının sonucu olarak hata miktarının Yörünge I'den fazla olduğu belirlenmiştir.

Yörünge III'ün j ekseninde 13 defa açısal değişim olduğu gözlemlenmiştir.

Hata miktarları incelendiğinde eksen hareketlerindeki açısal değişimlerin en az olduğu Yörünge I'in en düşük, en fazla olduğu Yörünge II'nin ise en yüksek oranda hata miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Yörünge I ve Yörünge III'de değişimler sırasında tek eksen; Yörünge II'de ise 2 eksen hareketin olduğu tespit edilmiştir. Hareket esnasında kullanılan eksen sayısının azaltılması ile homojen dağılıma arasında doğru orantı olduğu bulunmuştur.

3 yörünge için 44,5 mm ve 47 mm mesafelerinde yapılan eksen hareketleri incelendiğinde; açı değerlerinin farklı fakat açısal değişim değerlerinin aynı olduğu tespit edilmiştir. 3 farklı mesafe için yapılan incelemede mesafe değişimlerinin açısal değişimi etkilemediği belirlenmiştir. Bu sonuç Şekil 4'teki grafiklerle kıyaslandığında; aynı yörünge ve nokta sayısı için farklı mesafelerde yapılan deneylerde mesafenin hata miktarlarındaki homojen dağılıma etkisinin en az olduğu belirlenmiştir. Mesafenin homojenlik veya standart sapma üzerine etkisi nokta sayısı ve yörünge şekline göre en azdır.

CMM sonuçları ile 27 deney şartı karşılaştırıldığında; deney şartı 5-6-7-8-9-14-15-23-25'e ait hata miktarlarının 5-106 μm arasında olduğu belirlenmiştir. Diğer deney şartları için yapılan ortalama hata miktarı hesaplamalarında belirlenen CMM sonuç aralığının dışında olduğu tespit edilmiştir. Diğer deney şartlarının CMM sonuçlarına göre hata miktarı yaklaşık olarak 136,77 μm fazla olduğu belirlenmiştir. 136,77 μm değer; hata oranı cinsinden ortalama %0,757 olarak hesaplanmıştır. Hata miktarı olarak CMM sonuçlarına göre; 9 deney şartı için benzer sonuç, diğer 14 deney için %0,757 ortalama hata miktarında artış olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar tüm deney şartları ile değerlendirildiğinde; Yörünge I'in ortalama hata miktarı olarak CMM sonuçlarına en yakın olduğu belirlenmiştir. En iyi sonuç ise deney şartı 8'de elde edilmiştir.

Nokta sayısı olarak CMM sonuçları incelendiğinde, en iyi sonuç 52 noktada elde edilmiştir. CMM sonuçları mesafe değerlerine göre kıyaslandığında ise her mesafenin hata miktarı olarak birbirine yakın değerler verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Hata miktarlarında homojen dağılımın düşük olduğu durumların sebepleri incelendiğinde; sırasıyla nokta sayısı, eksenlerdeki açısal değişimler, yörünge farklılıkları ve mesafe değerleri olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada; serbest form yüzeye sahip bir titanyum numunenin imalat sonrası yüzey ölçüm değerlerinin, robot kola entegre edilmiş lazer sensörle ölçülmesi sağlanmıştır. Ölçülen değerlerin CMM cihazından alınan boyutsal ölçüm değerleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde hata miktarları, ortalama hata miktarına ait standart sapma değerleri ve robot kolun eksenlerindeki açısal değişimleri değerlendirilmiştir. 27 farklı deneyde toplam 1404 nokta üzerinden elde edilen sonuçlara

göre; nokta sayısının hata miktarındaki homojen dağılıma en fazla etkisinin olduğu belirlenmiştir. Numune yüzeyinde oluşturulan çizgisel yörüngelerin ise lazer sensör mesafesine kıyasla, hata miktarlarındaki homojen dağılım üzerinde daha fazla etkisi olduğu belirlenmiştir.

Robot kolun hareketleri sırasında açısal değişimleri incelendiğinde; açısal değerlerdeki değişimin artışı hata miktarındaki homojenliğe olumlu etkilediği belirlenmiştir. Açısal değişimin miktarında artış olduğu zaman hata miktarlarındaki homojen dağılımı olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Mesafeye göre değerlendirildiğinde, ortalama hata miktarının mesafe arttıkça arttığı belirlenmiştir. Nokta sayısının ve mesafenin artırılması tüm deney şartlarında Yörünge II için CMM sonuçlarına en uzak değerleri vermiştir.

Ortalama hata miktarı değerleri göz önüne alındığında, artan nokta sayısı ile doğrudan ilişki içinde olduğu belirlenmiştir. Standart sapma değerlerinin en az olduğu durumlarda, hata miktar değerlerinin en fazla homojen dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada robot kola bağlı lazer sensörle yapılan ölçümlerin, serbest form yüzeye sahip metaller için CMM cihazları yerine kullanılabilirliğini gösterilmiştir. Lazer ölçüm sonuçları CMM değerlerini 9 deney şartında sağlamıştır. 18 deney şartında ise %0,757 değerinde bir sapma ile CMM sonuçlarını sağlamıştır. Ortalama hata miktarlarına ve benzerlik oranlarına göre değerlendirildiğinde robot kola bağlı lazer sensörle yapılan ölçümlerin gelişime açık bir alan olduğu belirlenmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir (Proje numarası: 119R009).

Kaynakça

- Germani, M., Mandorli, F., Mengoni, M., Raffaelli, R. (2010). CAD-based environment to bridge the gap between product design and tolerance control. *J. Prec. Eng.*, 34, 7–15.
- Huang, Y., Qian, X. (2007). A dynamic sensing-and-modeling approach to three-dimensional point-and-area-sensor integration. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 129, 623–635.
- Hwang, C. Y., Tsai, C. Y., Chang, C. A. (2004). Efficient inspection planning for coordinate measuring machine. *J. Adv. Manuf. Technol.*, 23, 732–742.
- Kruth, J. P., Van Gestel, N., Bleys P., Welkenhuyzen, F. (2009). Uncertainty determination for CMMs by Monte Carlo simulation integrating feature form deviations. *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, 58, 463–466.
- Li, Y., Gu, P. (2004). Free-form surface inspection techniques state of the art review. *Computer-Aided Des.*, 36, 1396–1417.
- Lee, G., Mou, J., Shen, Y. (1997). Sampling strategy design for dimensional measurement of geometric features using coordinate measuring machine. *J. Mach. Tools Manuf.*, 37, 917–934.
- Lee, K.H., Park, H. (2000). Automated inspection planning of free-form shape parts by laser scanning. *J. Robot. Comput Integr. Manuf.*, 16, 201–210.
- Martins, F., Garcia-Bermeio, F., Casanova, E., Gonzalez, J. (2005). Automaed 3D surface scanning based on CAD model, *J. Mechatron.*, 15, 837–857.

- Weckenmann, A., Jiang, X., Sommer K.D., Neuschaefer-Rube, U. (2009) Multisensor data fusion in dimensional metrology. *CIRP Ann. – Manuf. Technol.*, 58, 701–721.
- Nashman, M., Yoshimi, B., Hong, H., Rippey, W. (1997). A unique sensor fusion system for coordinate measuring machine tasks. *Proc. SPIE Intell. Syst. Adv. Manuf.*, 3209, 145–156.
- Bradley, C., Chan, V. (2001) A complementary sensor approach to reverse engineering. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 123, 74–82.
- Carbone, V., Carocci, M., Savio, E., Sansoni, G. (2001). Combination of a vision system and a coordinate measuring machine for the reverse engineering of freeform surfaces. *J. Adv. Manuf. Technol*, 17, 263–271.
- Shen, T., Huang, J., Menq, C. (2001). Multiple sensor planning and information integration for automatic coordinate metrology. *J. Comput. Inform. Sci. Eng.*, 1, 167–179.
- Zhao, H., Kruth, J. P., Van Gestel, N., Boeckmans, B., Bleys, P. (2012). Automated dimensional inspection planning using the combination of laser scanner and tactile probe. *Measurement*, 45, 1057-1066.
- Cheng, W. L., Menq, C. H. (1995). Integrated laser/CMM system for the dimensional inspection of objects made of soft material. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10, 36-45.
- Morozov, M., Pierce, S. G., MacLeod, C. N., Mineo, C., Summan, C. (2018). Off-line scan path planning for robotic NDT. *Measurement*, 122, 284-290.
- Heeshin, K. (2016). Study on Synchronization for Laser Scanner and Industrial Robot. *Int. J. Sci. Eng. Appl. Sci.* 2, 2395–3470.
- Hatwig, J., Reinhart G., Zaeh, M. F. (2010). Automated task planning for industrial robots and laser scanners for remote laser beam welding and cutting. *Prod. Eng.*, 4, 327.
- Idrobo-Pizo, G. A., Motta, J. M. S., Sampaio, R. C. (2019). A calibration method for a laser triangulation scanner mounted on a robot arm for surface mapping. *Sensors*, 19(8), 1783.
- Niola, V., Rossi, C., Sergio, S., Salvatore, S. A. (2010). Method for the calibration of a 3-D laser scanner, *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, 27, 479–484.
- Ren, Y., Yin, S., Zhu, J. (2012). Calibration technology in application of robot-laser scanning system. *Opt. Eng.*, 51.
- Li, J., Chen, M., Jin, X., Chen, Y., Dai, X., Ou, Z., Tang, Q. (2011). Calibration of a multiple axes 3-D laser scanning system consisting of robot, portable laser scanner and turntable. *Opt. Int. J. Light Electron. Opt.*, 122, 324–329.
- Tzafestas, S. G., Raptis, S., Pantazopoulos, J. A. (1996). Vision-Based Path Planning Algorithm for a Robot-Mounted Welding Gun. *Image Process. Commun*, 2, 61–72.
- Hatwig, J., Minnerup, P., Zaeh M. F., Reinhard, G. (2012). An Automated Path Planning System for a Robot with a Laser Scanner for Remote Laser Cutting and Welding. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 5, 1323-1328.
- Shirinzadeh, B., Teoh, P. L., Tian, Y., Dalvand, M. M., Zhong, Y., Liaw, H. C. (2010). Laser interferometry-based guidance methodology for high precision positioning of mechanisms and robots. *Robot, Comput.-Integr. Manuf.*, 26, 74–82.
- Fu, S., Cheng, F., Tjahjowidodo, T., Zhou, Y., Butler, D. A. (2018). Non-Contact Measuring System for In-Situ Surface Characterization Based on Laser Confocal Microscopy. *Sensors*, 18, 2657.
- Shen, C., Zhu, S. (2012). A robotic system for surface measurement via 3D laser scanner. *Reconstruction*, 1: 2.
- Deng, W., Shark, L. K., Matuszewski, B. J., Smith, J. P., Cavaccini, G. (2004). CAD model-based inspection and visualisation for 3D non-destructive testing of complex aerostructures. *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 46, 157-161.
- Al Khawli, T., Anwar, M., Gan, D., Islam, S. (2021). Integrating laser profile sensor to an industrial robotic arm for improving quality inspection in manufacturing processes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235, 4-17.
- Zhuang, H., Roth, Z. S., Sudhakar, R. (1994). Simultaneous robot/world and tool/flange calibration by solving homogeneous transformation equations of the form $AX = YB$. *IEEE Trans. Robot. Autom.*, 10, 549–554.
- Zhuang, H., Wang, K., Roth, Z. S. (1998). Simultaneous calibration of a robot and a hand-mounted camera. *IEEE Trans. Robot. Autom.*, 11, 649–660.
- Paryanto, Brossog, M., Kohl, J., Merhof, J., Spreng, S., Franke, J. (2014). Energy consumption and dynamic behavior analysis of a six-axis industrial robot in an assembly system. *Procedia CIRP* 23, 131 – 136.



Effect of Different Ultrasonic Amplitude Treatments on Corn Starch Gels

Gamze Üçok^{1*}

^{1*} Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7692-9700),
gozugur@erbakan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013135)

ATIF/REFERENCE: Üçok, G. (2021). Effect of Different Ultrasonic Amplitude Treatments on Corn Starch Gels. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1133-1136.

Abstract

In this study, the effects of different amplitudes at high power ultrasound of 20 kHz on the syneresis and textural properties of corn starch suspensions were examined. Suspensions were treated with 10, 30, and 70% amplitude for 30 min using an ultrasound probe. While ultrasound treatments caused syneresis, no syneresis was observed in the control gel. It was observed that the rate of syneresis decreased with the increase of the ultrasound amplitude percentage, and also increased significantly after 48 h of storage. The ultrasound treatments caused a marked decrease of the gel mechanical properties. In particular, the reduction of ultrasound amplitude made the gels more brittle, it also caused the rupture and gel strength to decrease. The results obtained in this study showed that ultrasound technology can be used to adjust the gel strength of corn starch solutions used in food and other industries.

Keywords: Corn starch gel, Ultrasound, Gel strength, Rupture strength, Brittleness, Syneresis.

Farklı Ultrason Genlik Uygulamalarının Mısır Nişastası Jelleri Üzerindeki Etkisi

Öz

Bu çalışmada, 20 kHz'lik farklı genliklerdeki yüksek güçlü ultrasonun mısır nişastası süspansiyonlarının sineresis ve tekstürel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Süspansiyonlar, bir ultrason probu kullanılarak %10, %30 ve %70 dalga genliğinde 30 dakika boyunca muamele edilmiştir. Ultrason uygulaması jellerde sineresis oluşumuna neden olurken, kontrol jelinde sineresis gözlenmemiştir. Sineresis oranlarının uygulanan ultrason genlik yüzdesinin artmasıyla azaldığı ve 48 saatlik depolama sonrasında ise önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Ultrason uygulaması, jellerin mekanik özelliklerinde belirgin bir düşüşe neden olmuştur. Özellikle ultrason genliğinin azalması jelleri daha kırılabilir hale getirerek, kırılma mukavemetinin ve jel gücünün azalmasına neden olmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, gıda ve diğer endüstrilerde kullanılan mısır nişastası çözeltilerinin jel gücünü ayarlamak için ultrason teknolojisinin kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mısır nişastası jeli, Ultrason, Jel gücü, Kırılma mukavemeti, Kırılabilirlik, Sineresis.

* Corresponding Author: gozugur@erbakan.edu.tr

1. Introduction

In the food industry, starch is widely used as a thickener, gelling agent, emulsifier, and stabilizer. Starch is actively preferred because it is natural, non-toxic, easy to obtain, and constantly renewing production resources (Kalinina et al., 2020). Starch obtained from corn constitutes an important basis for food production. Corn starch is used in its natural form or as a chemically modified food ingredient to thicken liquids and add other desirable textural properties to foods. It can also be used in the production of sweeteners such as corn syrup, producing ethanol, in the paper industry, and also as a binder in drywall and other building materials, adhesives, and in the development of thermoplastics and polyurethanes (Hallauer, 2001).

Ultrasound (US) is sound above the threshold of the human ear (above 18 kHz). The treatment of ultrasound has enormous potential for a wide variety of processes in the food industry. Ultrasound has many areas of use in food processing such as microbial inactivation, extraction (release of active substances in the plant), filtration, drying, emulsification, homogenization, crystallization (formation of smaller ice crystals in ice cream), separation, viscosity change, defoaming, and extrusion (Iida, Tuziuti, Yasui, Towata, & Kozuka, 2008; Jambrak et al., 2010).

Ultrasonication used during the processing of starch-based foods or ingredients can affect the product properties, and cause the food properties to change.

Ultrasonic treatment, which is also used as a physical starch modification method, has significant advantages in terms of higher selectivity, reduction of chemicals uses and processing time, and ease of integration into the process flow. Therefore, ultrasonication serves the concept of "green chemistry and technology" as an environmentally friendly process (Kalinina et al., 2020; Zhu, 2015).

In this study, different amplitudes of ultrasound were treated to corn starch solutions, and the syneresis and mechanical properties of the gels were investigated.

2. Material and Method

The corn starch (Selva Food Industry Inc., Konya) used in the study was obtained from a local market. Its composition is declared by the manufacturer as 88% starch, 0.45% protein, and 0.1% fat. Starch solutions were prepared using distilled water.

2.1. Sample Preparation

Corn starch solutions were prepared to contain 10% dry matter. After the solutions were heated to approximately 60±2 °C on a magnetic stirrer, they were subjected to ultrasound treatment for 30 min. Ultrasound treatment (Bandelin Sono Puls, HD 2200, Berlin, Germany) was performed at 20 kHz frequency voltage, 200 W output, and in 3 different amplitudes as 10%, 30%, and 70% in solutions with a volume of 400 ml. The SH 225G booster horn was used during the process, according to which 10, 30, and 70% power correspond to 5.1, 15.3, and 35.7 µm displacement (peak to peak), respectively. The temperature was kept constant at 60±2 °C throughout the ultrasound process. Then, the solution temperatures were allowed to reach about 80 °C within 15 min by

mixing with a magnetic stirrer. The control sample was prepared at 60 °C for the first 30 min and gradually increased to 80 °C for the next 30 min. The solutions were divided into jars as 40 ml and stored with the lid closed at +4 °C after coming to room temperature. Analyses of the samples were carried out after 2 h and 48 h of storage. The measurements were performed at least four times.

In the study, samples treated 10%, 30%, and 70% ultrasonic amplitude were named as 10%US, 30%US, and 70%US, respectively.

2.2. Determination of Syneresis

Syneresis measurements indicating the degree of water release of the gels were determined according to Charoenrein, Tatirat, and Muadklay (2008) with some modifications. Accordingly, approximately 10 g of the gel sample was centrifuged (Awel MF20, Blain, France) at 15000 × g for 15 min. The separated supernatant was weighed. The percentage of syneresis was calculated by the following formula:

$$\text{Syneresis (\%)} = \frac{W_w}{W_i} \times 100$$

where W_w is the weight of water left from the gel after centrifuge, W_i is the initial weight of the gel before centrifuge.

2.3. Mechanical Properties of Corn Starch Gels

Mechanical measurements of the gel samples were performed after approximately 1 h they were removed from the refrigerator. Gel strength, rupture strength and brittleness values of gels were determined using a Model TA-XT Plus texture analyser (Stable Microsystems, Surrey, UK) with a 5 kN load cell equipped with a 12.7 mm diameter flat-faced cylindrical plunger. Gel strength determined as maximum force (g) for the plunger to depress by 4 mm the surface of a gel with a standard 0.5" diameter cylinder probe at a rate of 0.5 mm/s. Rupture strength and brittleness tests were conducted at a crosshead speed of 1 mm/s by compressing the sample until rupture.

2.4. Statistical Analysis

Results are given as mean ± standard deviation. Differences between mean values were assessed at P<0.05 with the Tukey multiple comparison test using SPSS 22.0.1 (SPSS Inc., New York, USA).

3. Results and Discussion

Corn starch syneresis analysis results are given in Fig. 1. No syneresis was observed in the control gels both on the first day and after 48 h. The highest syneresis was in the samples treated at 10% amplitude of US, and the lowest was at 70%. In general, syneresis increased with US treatment, whereas it decreased as US amplitude increased. At the same time, it was observed that the amount of syneresis increased with storage in the US-treated samples.

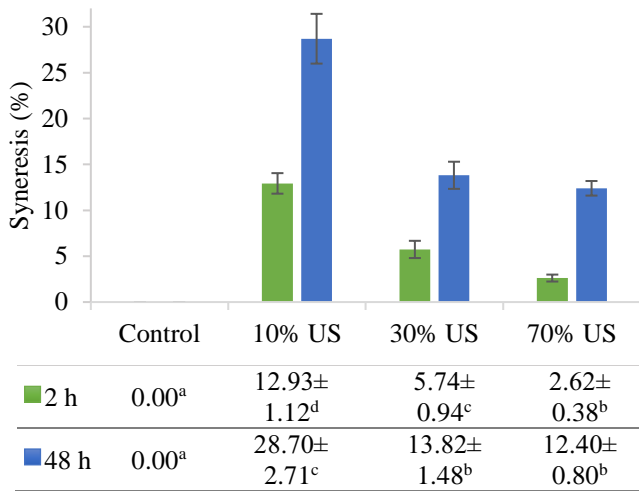


Fig. 1. Syneresis ratios of corn starch gels*

*Error bars show standard deviation (SD). Result are mean ± SD. Mean values followed by different lower-case superscript within the same line are significantly (P<0.05) different in the same analysis time.

It was determined by A. Hu et al. (2014) that the water released by the ultrasound applied starch grains after freezing and thawing raised with the increase of the time and frequency of US application. Similarly, Falsafi et al. (2019) found that the syneresis of oat starch gels prepared from the sonicated granules was significantly higher than that of the control starch gel.

Rupture strength is the maximum force at the fracture point of the gel. The distance the probe enters just before the gel breaks, gives the gel brittleness. The shortening of this distance is an indication of the increased brittleness of the gel, and the lengthening is an indicator of increased elasticity (Pycia, Juszczak, Gałkowska, & Witczak, 2012; Raina, Singh, Bawa, & Saxena, 2006).

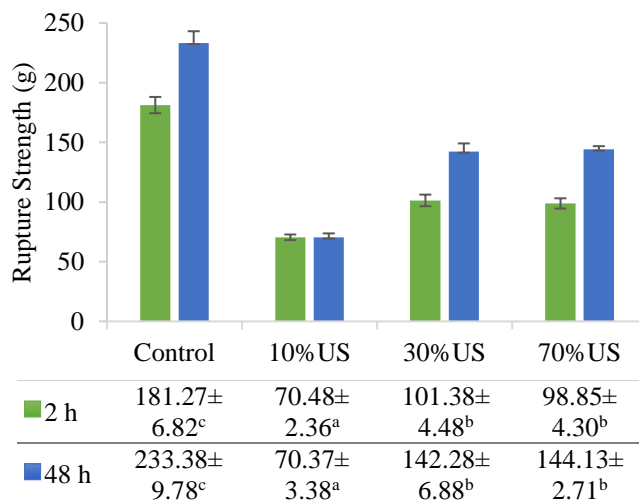


Fig. 2. Rupture strength (g) of corn starch gels*

*Error bars show standard deviation (SD). Result are mean ± SD. Mean values followed by different lower-case superscript within the same line are significantly (P<0.05) different in the same analysis time.

As the rupture strength and brittleness give the gel its hardness and flexibility during rupture, respectively, these two indicators do not represent the overall quality of the gel. The gel

strenght, which indicates the force received by the probe at the point of maximum penetration distance, is used to express the entire texture of the gel (W.-X. Hu, Chen, Zhao, Chen, & Wang, 2020).

The rupture strength and brittleness values of the gels are given in Fig. 2 and 3, respectively. The highest rupture strength was seen in the control sample, while the lowest was in the 10%US sample. There was no statistical difference between the rupture strength of starch 30%US and 70%US gels. In general, it was determined that the US treatment, especially low amplitude, decreased the rupture strength.

It was observed that the brittleness value of the samples was the highest in the control sample and increased with storage. This was followed by a 30%US sample, however, a decrease was also seen with the effect of storage. 10%US and 70%US samples were unaffected by storage. The lowest brittleness was in the 10%US sample.

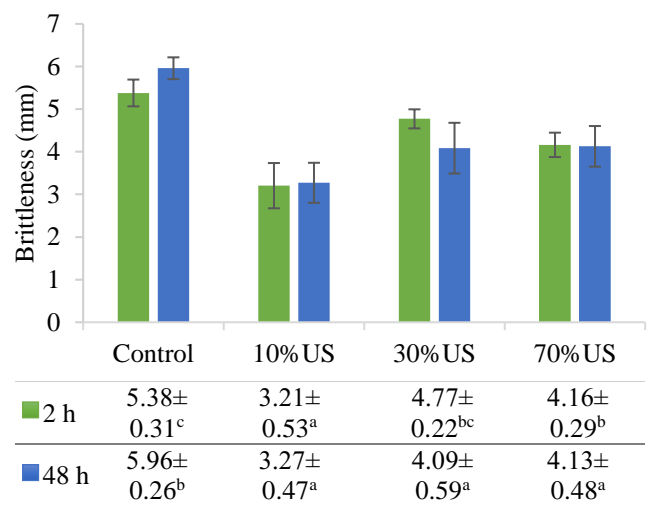


Fig. 3. Brittleness (mm) of corn starch gels*

*Error bars show standard deviation (SD). Result are mean ± SD. Mean values followed by different lower-case superscript within the same line are significantly (P<0.05) different in the same analysis time.

The gel strength of the samples also differed with the US application (Fig. 4). The control sample had the highest gel strength and did not change with storage. On the other hand, the gel strength of the US-treated samples showed similarities with the rupture strength. It was determined that the gel strength of the samples, which were applied 30 and 70% US, increased significantly with the effect of storage.

Herceg et al. (2010) reported that with increasing ultrasound power, starch granules were mechanically damaged more, especially in the amorphous region. They also found that corn starch gels prepared from ultrasound probe-treated suspensions gave a higher hardness and higher adhesiveness and cohesiveness values than untreated or ultrasound bath treated suspensions.

Raina et al. (2006) found that the gel strength, rupture strength and brittleness of rice starch gels stored at 4 °C were lower than gels stored at 25 °C, attributing this to the harder texture and reduced elasticity of the gels stored at low temperature.

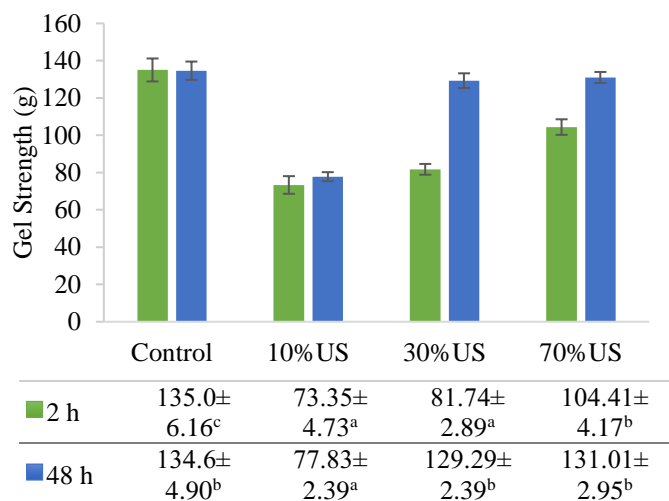


Fig. 4. Gel strength (g) of corn starch gels*

*Error bars show standard deviation (SD). Result are mean \pm SD. Mean values followed by different lower-case superscript within the same line are significantly ($P < 0.05$) different in the same analysis time.

4. Conclusions and Recommendations

The mechanical properties of the gels obtained after high-frequency US application were adversely affected and the syneresis event in of the gels increased. It may have increased the amount of syneresis as a result of not forming a strong gel structure. Also, syneresis increased with the retrogradation that occurred with storage. It can be concluded that the rupture strength decreases with the increase in the syneresis rate of the samples. At the same time, the rate of syneresis increasing with storage may have increased the gel strength.

It is estimated that the collapse of the cavitation bubbles formed by the ultrasound process breaks the starch granules and mechanically damages the gel formed afterward. However, here, the greatest damage occurs at the low amplitude rate, while these losses can be tolerated as the amplitude increases.

According to the results of this study, it was concluded that gels with different mechanical properties can be obtained with the selected US amplitude. Consequently, softer gels can be produced using US treatment and the rate of syneresis can be controlled by amplitude adjustment.

References

- Charoenrein, Sanguansri, Tatirat, Orawan, & Muadklay, Janya. (2008). Use of centrifugation–filtration for determination of syneresis in freeze–thaw starch gels. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 143-147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.012>
- Falsafi, Seid Reza, Maghsoudlou, Yahya, Rostamabadi, Hadis, Rostamabadi, Mohammad Mahdi, Hamedi, Hassan, & Hosseini, Seyed Mohammad Hashem. (2019). Preparation of physically modified oat starch with different sonication treatments. *Food Hydrocolloids*, 89, 311-320. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.046>
- Hallauer, Arnel R. (2001). *Specialty corns* (2nd ed.). Boca Raton: CRC press.
- Herceg, Ivana Ljubić, Jambrak, A Režek, ŠubarIć, Drago, Brnčić, M, Brnčić, S Rimac, Badanjak, Marija, . . . Herceg, Zoran.

(2010). Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch. *Czech journal of food sciences*, 28(2), 83-93.

- Hu, Aijun, Li, Li, Zheng, Jie, Lu, Jing, Meng, Xin, Liu, Yan, & Rehman, Rizwan-ur-. (2014). Different-frequency ultrasonic effects on properties and structure of corn starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(14), 2929-2934. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6636>
- Hu, Wen-Xuan, Chen, Jie, Zhao, Jing-Wen, Chen, Ling, & Wang, Yuan-Hui. (2020). Effect of the addition of modified starch on gelatinization and gelation properties of rice flour. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 26-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.002>
- Iida, Yasuo, Tuziuti, Toru, Yasui, Kyuichi, Towata, Atsuya, & Kozuka, Teruyuki. (2008). Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2), 140-146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.029>
- Jambrak, Anet Režek, Herceg, Zoran, Šubarić, Drago, Babić, Jurislav, Brnčić, Mladen, Brnčić, Suzana Rimac, . . . Gelo, Jurica. (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 79(1), 91-100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.051>
- Kalinina, Irina, Ruskina, Alena, Fatkullin, Rinat, Naumenko, Natalya, Potoroko, Irina, Sonawane, Shirish, & Shaik, Shabana. (2020). The application of ultrasound for the regulation of the starch gel viscosity. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(3), 690-695.
- Pycia, Karolina, Juszczak, Lesław, Gałkowska, Dorota, & Witczak, Mariusz. (2012). Physicochemical properties of starches obtained from Polish potato cultivars. *Starch - Stärke*, 64(2), 105-114. doi: <https://doi.org/10.1002/star.201100072>
- Raina, C. S., Singh, S., Bawa, A. S., & Saxena, D. C. (2006). Some characteristics of acetylated, cross-linked and dual modified Indian rice starches. *European Food Research and Technology*, 223(4), 561-570. doi: 10.1007/s00217-005-0239-z
- Zhu, Fan. (2015). Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch. *Trends in Food Science & Technology*, 43(1), 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.12.008>



Fabrication and Characterization of Mullite Reinforced CaO Added ZrO₂ Ceramics

Mehmet Akif Hafizoğlu^{1*}, Ahmet Akkuş², Tahsin Boyraz³

^{1*} Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9689-3004), mehmedhaf@hotmail.com

² Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6881-9333), aakkus@cumhuriyet.edu.tr

³ Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4404-6388), tahsinboyraz@cumhuriyet.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013434)

ATIF/REFERENCE: Hafizoğlu, M. A., Akkuş, A. & Boyraz, T. (2021). Fabrication and Characterization of Mullite Reinforced CaO Added ZrO₂ Ceramics. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1137-1143.

Abstract

In this study, mullite (3Al₂O₃.2SiO₂) and 11 mol % calcia added zirconia (11 mol % CaO - 89 mol % ZrO₂) ceramic powders were synthesized by conventional ceramic production processing route. The mixtures were prepared by mechanical alloying method in acetone environment with zirconia ball mill. The powders were dried in oven at 110 °C for 24 hours before mixing. Mullite (3Al₂O₃.2SiO₂) and 11 mol% calcia added zirconia (CaO-ZrO₂) ceramic powders were synthesized by reaction sintering from the powders made up of stoichiometric proportions of Al₂O₃, SiO₂, CaO and ZrO₂ powders after being homogenized in acetone environment in ball mills. Mullite (3Al₂O₃.2SiO₂) and 11 mol% calcia added zirconia (CaO-ZrO₂) ceramic powders were synthesized in air at 1600 °C for 3 h and 1300 °C for 2 h, respectively. Then, the ceramic phases formed were made ready to form ceramic - ceramic composites by crushing, grinding and sieving processes. Then 0 and 10% by weight mullite (M) added calcia doped zirconia (CaZ) mixtures were prepared by powder metallurgy method. The prepared mixtures were wet milled with zirconia ball mill for 24 h and sieved. After drying, the powders were compacted to preforms of 56x12x10 mm by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1500-1600 °C for 1-5 h in air conditions using a heating rate of 5 °C min⁻¹ in a high temperature furnace. Then, microstructure (SEM), phase analysis (XRD), mechanical (hardness, 3-point bending and wear) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity and density) tests were performed on the mullite added calcia doped zirconia ceramic composites. In this study, whether there is a phase change in the ZrO₂ - CaO mixture at high sintering temperatures and the effect of mullite additive on the properties of this mixture was investigated. The data obtained were presented in graphs and tables and their comments were made.

Keywords: Zirconia, Mullite, Calcia, Characterization, Wear.

Mullit Takviyeli CaO Katkılı ZrO₂ Seramiklerinin İmalatı ve Karakterizasyonu

Öz

Bu çalışmada, mullit (3Al₂O₃.2SiO₂) ve %11 mol kalsiyum oksit katkılı zirkonya (%11 mol CaO - %89 mol ZrO₂) seramik tozları geleneksel seramik üretim yöntemi ile sentezlenmiştir. Karışımlar, zirkonya bilyalı değirmende aseton ortamında mekanik alaşımlama yöntemiyle hazırlanmıştır. Tozlar karıştırılmadan önce 110 °C'de 24 saat etüvde kurutulmuştur. Al₂O₃, SiO₂, CaO ve ZrO₂ tozlarının stokiometrik oranlarından oluşan tozların aseton ortamında bilyeli değirmende homojenize edildikten sonra geleneksel sinterleme yöntemiyle Mullit (3Al₂O₃.2SiO₂) ve %11 mol kalsiyum oksit katkılı zirkonya (CaO-ZrO₂) seramik tozları sentezlenmiştir. Mullit ve %11 mol kalsiyum oksit katkılı zirkonya seramik tozları sırasıyla 1600 °C'de 3 saat ve 1300 °C'de 2 saat sentezlenmiştir. Daha sonra oluşan seramik fazlar kırma, öğütme ve eleme işlemleri ile seramik - seramik kompozitleri oluşturmaya hazır hale getirilmiştir. Daha sonra ağırlıkça %0 ve %10 mullit (M) takviyeli kalsiyum oksit katkılı zirkonya (CaZ) karışımları toz metalurjisi yöntemiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar zirkonya bilyalı değirmende 24 saat yaş öğütülmüş ve elenmiştir. Kurutulduktan sonra, tozlar 200 MPa'da tek eksenli presleme ile 56x12x10 mm'lik preformlara sıkıştırılmıştır. Devamında, yüksek sıcaklıklı bir fırında 5 °C/dak ısıtma hızı kullanılarak hava koşullarında 1500-1600 °C'de 1-5 saat sinterlenmiştir. Daha sonra mullit takviyeli kalsiyum oksit katkılı zirkonya seramik kompozitler üzerinde mikroyapı (SEM), faz analizi (XRD), mekanik (sertlik, 3 nokta eğme ve aşınma) ve fiziksel özellikler (% küçülme, su emme, gözeneklilik ve yoğunluk) testleri yapılmıştır. Bu çalışmada, yüksek sinterleme sıcaklıklarında ZrO₂ - CaO karışımında faz değişimi olup olmadığı ve mullit katkı maddesinin bu karışımın özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen veriler grafik ve tablolar halinde sunulmuş ve yorumları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zirkonya, Mullit, Kalsiyum oksit, Karakterizasyon, Aşınma.

* Corresponding Author: mehmedhaf@hotmail.com

1. Introduction

Ceramic materials as a high temperature structural material due to their several interesting features such as, excellent resistance to heat, corrosion and abrasion, are preferred, in numerous areas like, cutting tools, extrusion dies, adiabatic diesel engine compartments [1-3]. However, ceramic materials have many disadvantages, such as low impact strength and fracture toughness, fragility and limited processability. So, a lot of studies focus on these issues to improve the structural and mechanical properties of ceramics. Among ceramic materials, zirconia (ZrO_2) and its composites have recently become the focus of scientific and technological studies because of their better mechanical properties, corrosion resistance, high temperature stability, low thermal conductivity and high chemical stability. [1]. They are used as structural materials in the manufacture of refractory crucibles for melting pure metals, components of furnaces, engines, heat barriers, wear resistant components, blade cutting tools and wire mesh drawing machines, dental studies and other a lot of fields [1-4]. High-purity zirconia (ZrO_2) exhibits three polymorphs depending on temperature: monoclinic phase is stable up to about 1170 °C. After this temperature, the conversion from the monoclinic phase to the tetragonal phase begins and the tetragonal phase is stable up to 2370 °C. From this temperature to the melting temperature of 2680 °C, it is in the cubic phase. [1,4]. During the cooling process, transition from the tetragonal to monoclinic phase occurs. This transformation is very important because of resulting in a volumetric change of around 3% to 5% and so, leads to cracks. To prevent this transformation and stabilize the zirconia, it is common to use stabilizers. The addition of stabilizers to ZrO_2 , lowers the temperature of polymorphic transformations, reduces the volume changes and blocks the transformation. With using stabilizers, it is possible to ensure the existence of high-temperature phases at room temperature too [4]. Different stabilizers, such as, Al_2O_3 , CaO , CeO_2 , MgO , SiO_2 , TiO_2 , Y_2O_3 and even a combination of them, stabilize and keep stable the ZrO_2 in the tetragonal and/or cubic forms at room temperature [5-7]. It is possible to produce materials consisting of only t- ZrO_2 or c- ZrO_2 or a mixture of these with m- ZrO_2 phases by adding different quantities of stabilizer. If less than sufficient stabilizing oxide is added, partially stabilized zirconia (PSZ) is obtained instead of fully stabilized zirconia. PSZ usually consists of two or more closely mixed phases. As a result of using stabilizers and obtaining fully or partially stabilized zirconia, achieve excellent mechanical properties such as bending strength, fracture toughness, hardness [8].

Although, zirconia exhibits better mechanical properties than other ceramics, but like all other ceramics, it is fragile and cannot be formed at room temperature. So, we want to increase the toughness of these materials. For this, some energy absorbing mechanisms such as transformation toughening and fiber reinforcement are used in ceramic matrices [1].

In the method of increasing fracture toughness with transformation toughening, it works on the principle of a phase transformation caused by tension, by reducing the driving force that propagates existing cracks in the material structure [1]. The best example of this is zirconia. Zirconia which is added to the ceramic main phase, plays an important role in increasing the fracture toughness and thus the bending strength with its tetragonal - monoclinic transformation toughening feature. With the discovery of the transformation toughening that occurs in zirconia, this material has found wide use. Because the main

factor limiting the use of ZrO_2 in advanced engineering applications was the low toughness of this material. Increasing the toughness property with transformation toughening has also increased the interest in zirconia. The volume increase of 3 - 5%, which occurs with the tetragonal - monoclinic phase transformation in zirconia, prevents crack propagation and increases the toughness of the material and its resistance to fracture [9]. The t-m transformation in zirconia can occur in different ways. For example: t- ZrO_2 can be free as a single particle or crystal; It can also be found in a compacted form in a matrix as a precipitate phase. Tetragonal zirconia particle size and the matrix in which the particles are compacted are the most important factors. A critical t- ZrO_2 grain size determine in ZrO_2 . If the grain size is below this critical size, there will be no transformation; above, the t-m transformation occurs either continuously or as a result of applying a stress [10].

In the ceramic - ceramic mixed structure formation process, which is the other method of increasing the fracture toughness, the strength and toughness are increased by adding ceramic whiskers, fibers or particles to the main phase. This method is based on creating a physical barrier to the progressive crack. Having higher tensile strength than polycrystalline material, whiskers are a good barrier to propagation cracking. So, the fracture toughness of the submicrometric or nanocrystalline zirconia can be further increased by adding secondary phases into zirconia matrix, such as nanotubes, nanofibres or nanoplatelets [11]. During the last decades, the development of nanomaterials has offered a new alternative for reinforcing ceramics. Carbon nanotubes (CNTs) have attracted increasing attention as reinforcement because of their excellent properties. However, the CNTs are prone to reacting with an oxide matrix at high temperature, leading to the degradation in mechanical properties of CNTs and a limited reinforcing effect on the ceramics [12,13]. So, it is stated that incorporation of mullite which is another type of ceramic toughening method with its high temperature oxidation and corrosion resistance and the other superior properties, might be preferred [11]. In the literature, mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) is defined as the unique stable intermediate crystalline phase of the Al_2O_3 - SiO_2 binary system, cost-friendly and exhibiting good refractory ability [14,15]. Mullite has received significant attention for technological applications due to its good properties such as high melting point, low coefficient of thermal expansion, high chemical stability, high creep resistance and sufficient hardness [16,17]. In summary, the fracture toughness of the submicron or nanocrystalline zirconia can be further improved by adding mullite being the secondary phase into the zirconia matrix and so, the other mechanical properties can be improved too [11]. In addition, the sintering temperature is also particularly important, because it affected the properties of ceramics through alteration of the microstructure and crystalline phases [18]. Studies continue on the effect of different sintering temperatures on the microstructure and mechanical properties of mullite-zirconia ceramics.

In this study, mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) and 11 mol % calcia doped zirconia (CaO - ZrO_2) ceramic powders were synthesized by conventional ceramic production processing route. Then, the effect of mullite additive on the properties of this mixture was investigated. The data obtained were presented in graphs and tables and their results were commented.

2. Material and Method

Mullite and calcia doped zirconia ceramic powders were produced by conventional ceramic production processing route in this study. All precursory powder materials (Al_2O_3 , SiO_2 , CaO and ZrO_2) used in the present work were purchased from Eczacıbaşı Company, Alfa Aesar and Handan Yaxiang Chemicals Trading Co., Ltd (Eczacıbaşı Esan, Turkey; Alfa Aesar, United States of America and Handan Yaxiang Chemicals Trading Co., Ltd, China). The mixtures were prepared by mechanical alloying method in acetone environment with zirconia ball mill. The powders were dried in oven at 110 °C for 24 hours before mixing. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 11 mol% calcia doped zirconia (CaO-ZrO_2) ceramic powders were synthesized by reaction sintering from the powders made up of stoichiometric proportions of Al_2O_3 , SiO_2 , CaO and ZrO_2 powders after being homogenized in acetone environment in ball mills. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 11 mol% calcia doped zirconia (CaO-ZrO_2) ceramic powders were synthesized in air at 1600 °C and 1300 °C for 3h and 2 h, respectively. Then, the ceramic phases formed were made ready to form ceramic - ceramic composites by crushing, grinding and sieving processes. Then 0 and 10% by weight mullite added calcia doped zirconia mixtures were prepared by powder metallurgy method (hereinafter these mixtures will be named CaZ0M and CaZ10M respectively). The sample was coded as CaZ10M16005 (CaZ: Calcia doped zirconia; 10M: 10% Mullite addition and 16005: 1600 °C sintering temperature and 5 hours sintering time). The prepared mixtures were wet milled with zirconia ball mill for 24 h and sieved. After drying, the powders were compacted to preforms of 56x12x10 mm by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1500-1600 °C for 1-5 h in air conditions using a heating rate of 5 °C min^{-1} in a high temperature furnace (Protherm™ Furnace). Then, microstructure (SEM), phase analysis (XRD), mechanical (hardness, 3-point bending and wear) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity and density) tests were performed on the mullite added calcia doped zirconia ceramic composites.

The 3-point bending strength tests of the samples were performed on with a crosshead speed of 0.5 mm/min in a Shimadzu brand tensile-compression device. Five measurements were made for each sample and average results were accepted as the strength values of the samples. The strength calculations were made with the formula:

$$\sigma = 3/2 * P * L / (b * h^2) \quad (1)$$

(In (1) the letters mean that, P: maximum applied load, L: distance between supports, b: width, h: height).

The samples were polished on a velvet broadcloth using a 1 μm diamond solution after the 180, 320, 600, 1200 and 2500 grit sanding process, respectively. The diagonal field traces on the polished specimens were created using a square pyramid diamond tip with a 136° apex angle and 1 kg load for 10 seconds on the Mitutoyo brand vickers hardness tester. When calculating the hardness values, five measurements were taken and the results were given as average [19-24]. Plint brand wear tester was used for the wear tests of ceramics. Steel discs were used as wear disc. Wear tests were performed on each sample at 400 rpm rate, 5, 10 and 15 min wear durations and 100 N force. First, the specimen was measured with a precision scale of 0.0001 g, and the amount of wear was determined by measuring again after the specified wear time [22,23]. To determine the phases, X-ray powder diffractometer with Cu K α radiation (Bruker AXS D8 Advance;

20kV-60kV, 6mA-80mA and $\theta = 10^\circ$ - 90° , 0.002°) was used. The phase analysis of the XRD patterns was determined using the Pananalytical X'Pert High Score program. The microstructural characterization of the samples was made with the Mira3XMU FE-SEM (Tescan, Czech Republic) brand scanning electron microscope (SEM) with an energy dispersion spectrum (EDS). The data obtained were presented in graphs and tables and their comments were made.

3. Results and Discussion

Specified to sintered samples: Physical tests (total shrinkage, water absorption, porosity and density tests), mechanical tests (hardness, 3-point bending and wear), scanning electron microscopy (SEM) for EDS analysis and XRD for phase analysis. Measurements and calculations were made 5 times replicates, and their arithmetic averages were obtained.

Table 1. Physical test results of CaZ0M and CaZ10M samples

Samples	Bulk dens. g/cm^3	Rel. dens. (%)	Water Absorp. (%)	Por. (%)	Shir. (%)
CaZ0M15001	4,77	86,77	3,41	13,23	9,79
CaZ0M15005	5,16	93,89	1,75	6,11	12,20
CaZ0M16001	5,17	94,04	1,20	5,96	12,43
CaZ0M16005	5,26	95,67	0,36	4,33	12,76
CaZ10M15001	4,72	90,89	1,33	9,11	9,52
CaZ10M15005	4,74	91,28	1,02	8,72	9,76
CaZ10M16001	4,71	90,70	1,41	9,30	9,47
CaZ10M16005	4,58	88,19	1,79	11,81	8,65

The results of physical measurements (water absorption, bulk density, porosity and shrinkage) are given in Table 1, and also shown Figure 1. In Figure 1, the relative density values were taken at the rate of 1/3 of the actual values for the graph to be more understandable.

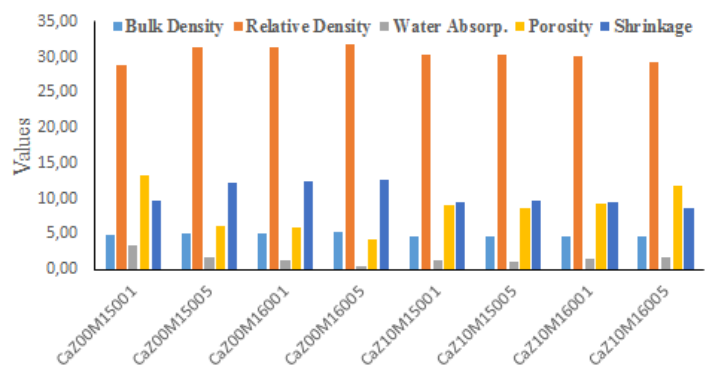


Figure 1. Physical test results graph of CaZ0M and CaZ10M samples

From the physical test results, it is found that the shrinkage values increased with increasing sintering temperature and time in mullite-free samples, and accordingly, the water absorption and porosity values decreased; it is seen that the experimental density and relative density values increase. In the mullite added samples, while the experimental density, relative density and shrinkage values increased in 1500 samples; these values decrease in 1600 samples. We think that this is a result of the defects and phase

changes occurring in the microstructure at 1600 °C temperature. In addition, it is seen that the shrinkage, experimental density and relative density values are lower in mullite added samples, and the water absorption and porosity values are higher.

Table 2, Figure 2 and Figure 3 indicated hardness and 3-point bending strength values of CaZ0M and CaZ10M samples.

From the Table 2 and Figure 2, when the hardness test results are examined, it is seen that the hardness values increase with increasing sintering temperature and time in mullite-free samples. It is seen that the hardness values of 1600 samples decreased in mullite added samples. We think that this is related to the large pores formed in the microstructure and in addition possible phase changes. In addition, it is seen that the hardness values of the mullite added samples are lower.

Table 2. Hardness and 3-point bending strength values of CaZ0M and CaZ10M samples

Samples	Hardness (HV)	3 - Point Bending Strength (MPa)
CaZ00M15001	489,98	69,89
CaZ00M15005	702,25	63,52
CaZ00M16001	705,40	62,01
CaZ00M16005	977,84	25,29
CaZ10M15001	435,97	125,62
CaZ10M15005	453,78	95,98
CaZ10M16001	445,23	90,41
CaZ10M16005	341,9	49,80

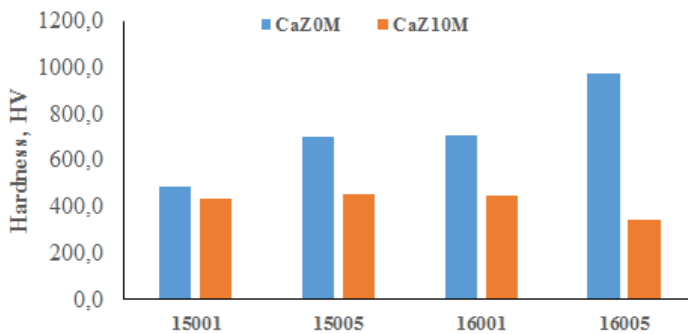


Figure 2. Hardness graph of samples

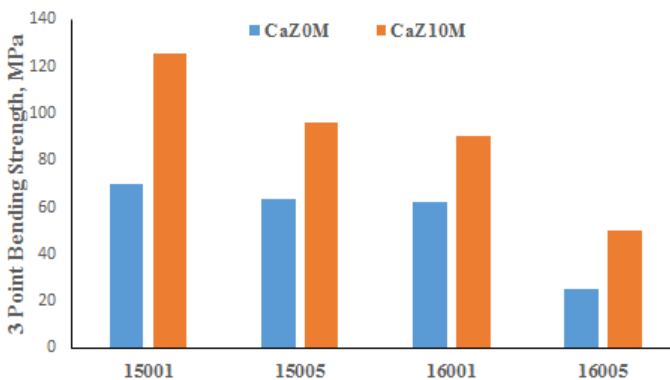


Figure 3. 3-Point bending strength graph of samples

The bending test results show that that three - point bending strength values decrease with increasing sintering temperature and time in all samples. In addition, it is seen that the three-point

bending strength values of the mullite added samples are higher. We think that this is a result of the differences in the microstructure and possible phase changes depending on the sintering temperature, sintering time and mullite additive.

Plint brand wear tester was used for the wear tests of ceramics. Steel disc is used as wear disc. Wear tests were performed on each sample at 5,10 and 15 min wear durations and 100 N force (400 rpm constant speed). First, the specimen was measured with a precision scale of 0.0001 g, and the amount of wear was determined by measuring again after the specified wear time. The wear results are shown in Table 3 and Figure 4.

Table 3. Wear Results of CaZ0M and CaZ10M Samples

Samples	Wear Volume (mm ³), 100 N		
	5 min.	10 min.	15 min.
CaZ00M15001	0,658	2,224	3,978
CaZ00M15005	0,616	2,232	3,421
CaZ00M16001	0,605	2,199	3,298
CaZ00M16005	1,855	4,114	9,443
CaZ10M15001	0,868	1,745	2,501
CaZ10M15005	0,802	1,296	1,977
CaZ10M16001	0,774	1,416	2,258
CaZ10M16005	0,881	2,109	2,766

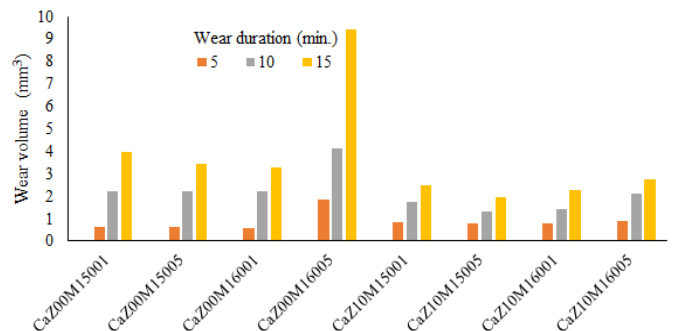


Figure 4. Wear test results graph of samples

When we look at the wear test results, we can say that the results vary depending on the hardness, bending strength and wear time of the samples. In general, as the wear time increased, the amount of wear of the samples also increased. The wear resistance of the samples with high hardness and bending strength is higher and the mullite additive improves the wear resistance of these samples. Although adhesive type wear was observed in the samples in general, it was observed that with the increase in the wear time in some samples, cracks occur on the worn surface and very small pieces break off and cause abrasive wear too. Although it has especially high hardness, the high amount of wear seen in the CaZ00M16005 sample is due to the brittle and easily breakable structure of the sample, and its three-point bending strength is very low compared to the other samples.

The phase changes in the sample structure depending on the sintering temperature and time of CaZ0M and CaZ10M samples were analyzed and the basic phases that emerged in the structure were shown in Figure 5 and Figure 6.

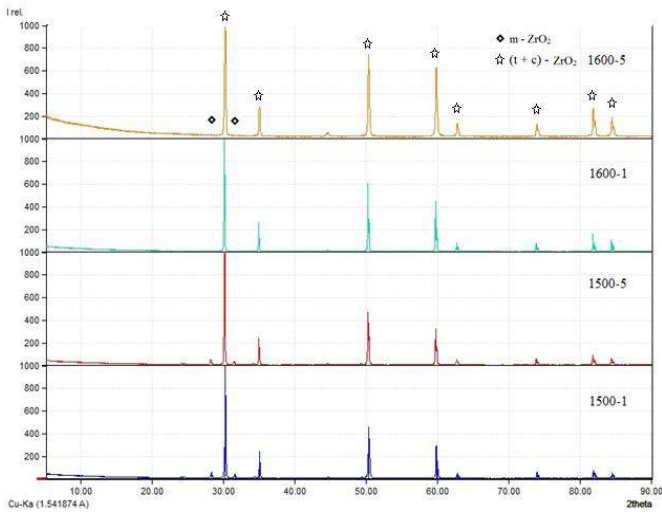


Figure 5. XRD patterns of CaZ0M samples

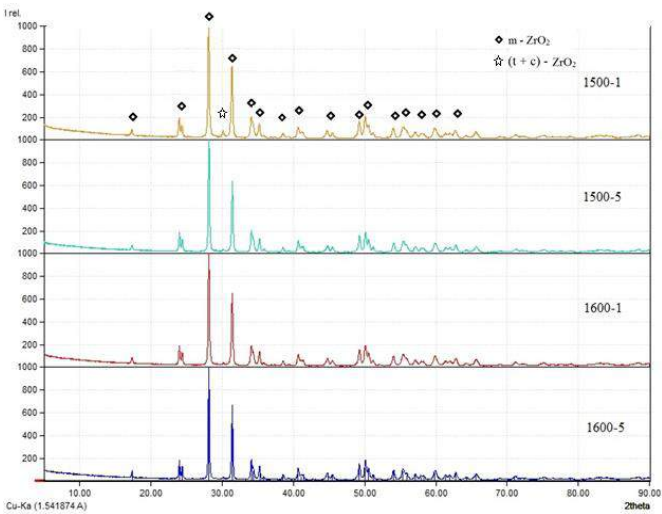


Figure 6. XRD patterns of CaZ10M samples

The microstructure image of CaZ0M16005 and CaZ10M16005 samples is given in Figure 7.

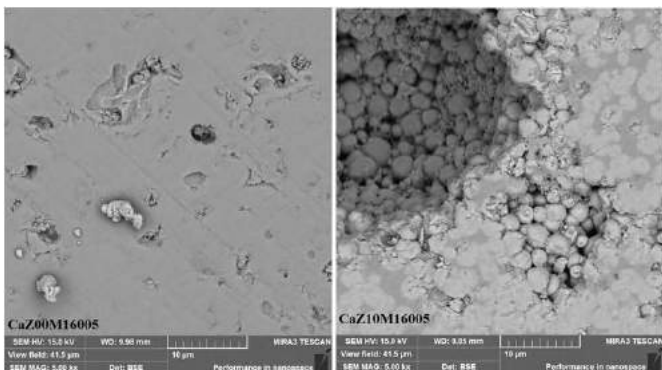


Figure 7. SEM images of CaZ0M16005 and CaZ10M16005 samples

Elemental analyzes of CaZ0M16005 and CaZ10M16005 samples with EDS are given in Figure 8 and Figure 9.

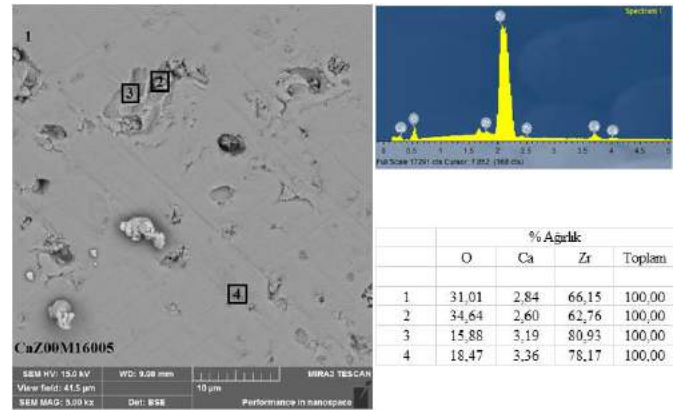


Figure 8. EDS analyses of CaZ0M16005 samples

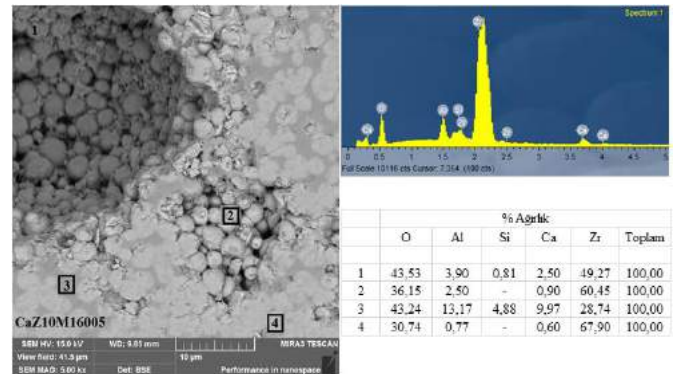


Figure 9. EDS analyses of CaZ10M16005 samples

Nath et al [25] obtained partially stabilized zirconia with 8 mol% CaO and fully stabilized zirconia with 16 mol% CaO in their study. For PSZ, the c-ZrO₂ phase increased at temperatures of 1550 and 1585 °C; They stated that the t-ZrO₂ phase decreased to a negligible extent. Although the density values of PSZ materials are higher than FSZ materials, the hardness values of single-phase c-ZrO₂ FSZ materials are higher because the m-ZrO₂ phase is softer than the t-ZrO₂ and c-ZrO₂ phases.

Accordingly, as can be seen from the XRD graphs given in Figure 5, while there is a small amount of m-ZrO₂ phase in the mullite-free 1500 samples; In 1600 samples, the structure completely transformed into the c-ZrO₂ phase. As the c-ZrO₂ phase increases, the amount of t-ZrO₂ phase in the structure decreases, and as a result, the fracture toughness and bending strength decrease as the t-m transformation toughness decreases [26].

Therefore, since the c-ZrO₂ phase increases significantly in the 1600-5 samples, the hardness will increase, but the bending strength will take the lowest value, confirming the values we obtained.

Kumar et al [27] produced mullite-zirconia ceramics using 0 – 12 mol% CaO with 2 hours sintering at temperatures of 1450 – 1600 °C. It has been stated that CaO increases the mechanical properties by forming the t-ZrO₂ phase. They stated that the density values decreased from 1500 to 1600 with 12 mol% CaO and the highest density value was obtained at 1500 °C.

Chandra et al [28] produced mullite-zirconia ceramics using 2.5 - 10% by weight of CaO by sintering for 3, 4, 5 hours at temperatures of 1450 – 1550 °C. It has been stated that the mullite phase is not present in the structure due to the formation of a small

amount of different phases in the samples with 10% CaO by weight. It is stated that the wear resistance is worse due to the absence of mullite formation. It was also stated that the effect of CaO on the m-ZrO₂ phase crystallite size is not regular.

In this direction, as can be seen from the XRD graphs given in Figure 6, it is seen that there is no mullite phase in the structure of the mullite added samples, and this result confirms the work of Chandra et al.

In our study, while t-ZrO₂ phase was observed in XRD 1500-1 in mullite-doped samples, this phase decreased in 1500-5, and it almost completely turned into m-ZrO₂ phase in 1600 samples. For this reason, the highest value of bending strength is in the 1500-1 sample. The lowest flexural strength in the 1600-5 samples is due to the decrease in t-m transformation toughness as a result of the decrease in the t-ZrO₂ phase and also due to grain coarsening. Our density values also yielded results in line with the work of Kumar et al.

Also in the SEM image given in Figure 7, the presence of large pores in the mullite added sample confirms that the density has decreased. As can be seen from the SEM image given in Figure 7, the amount and size of the pores on the surface increased significantly with the addition of mullite. It can be predicted that this situation will have a negative effect on the hardness values of the samples and decrease the hardness value of the mullite added sample. As a matter of fact, in the experimental results, the hardness value of the CaZ10M16005 sample was found to be lower than the hardness value of the CaZ00M16005 sample.

According to the EDS analyzes given in Figure 8 and Figure 9, the evaluation of the EDS analysis results on the CaZ00M16005 and CaZ10M16005 samples was made from general (1) and parts 2, 3, 4. It has been observed that the results of the EDS elemental analysis made from the general field survey (1) and other parts are compatible with the contribution rates and XRD results made to the samples.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, utilization of mullite in the manufacturing of calcia doped zirconia was investigated and it has been evaluated the effect of CaO and mullite contribution to ZrO₂ main matrix.

In all samples, it was observed that 3 - point bending strength values decreased with increasing sintering temperature and time. With increasing sintering temperature and time, shrinkage, experimental and relative density, hardness values and wear resistance of the CaZ0M coded mullite-free samples except for the 1600-5 sample increased; the water absorption and porosity values decreased. Although it has especially high hardness, the high amount of wear seen in the CaZ00M16005 sample is due to the brittle and easily breakable structure of the sample, and its three-point bending strength is very low compared to the other samples. The low flexural strength value of this sample despite its high hardness was explained by XRD phase analysis and the work of Nath et al. [25]. Accordingly, as the sintering temperature and time increase, the c-ZrO₂ phase increases significantly, especially in 1600-5 samples, and the hardness will also increase; However, it was stated that while the c-ZrO₂ phase increased, the amount of t-ZrO₂ phase in the structure was decreasing, and as a result, the t-m transformation toughening was reduced, so the bending strength got the lowest value.

In CaZ10M coded mullite added samples, while shrinkage, experimental and relative density, hardness values and wear resistance increased in 1500 samples; in the 1600 samples these values fall in line with the results obtained by Kumar et al [27]. We think this is a result of the differences in the microstructure and phase changes at 1600 °C temperature. While t-ZrO₂ phase was observed in XRD 1500-1 in mullite-doped samples, this phase decreased in 1500-5, and it almost completely transformed into m-ZrO₂ phase in 1600 samples. For this reason, the highest value of bending strength is in the 1500-1 sample. The lowest flexural strength in the 1600-5 samples is due to the decrease in t-m transformation toughness as a result of the decrease in the t-ZrO₂ phase and also due to grain coarsening.

While the shrinkage, experimental density, relative density, and hardness values of the samples with mullite additives decreased in general compared to the samples without additives; It was observed that water absorption, porosity and three-point flexural strength values and wear resistance increased. While m-ZrO₂, t-ZrO₂ and c-ZrO₂ phases were detected in the samples, mullite phase could not be detected in the phase analysis of the samples with mullite additives, and this result compatible with the work of Chandra et al [28].

5. Acknowledge

This work is supported by the Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University under the project number M-767. Authors would like to acknowledge Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University.

References

- [1] Boyraz, T. (2008). An investigation on physical and electrical properties of CaO/MgO-stabilized zirconia ceramics formed with different methods. Istanbul Technical University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 150p.
- [2] Pekdemir, A.D. (2018). Preparation and characterization of boron carbide at low-temperature from boric acid and polyols. Ankara University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 178p
- [3] Ceylan, A. (2006). The production of functionally graded SiAlON ceramics by tape casting method. Anadolu University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 204p.
- [4] Abi, C.B. (2009). An investigation on fracture toughness of traditional and technical ceramics. Afyon Kocatepe University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 194p.
- [5] Hafizoğlu M. A., Boyraz, T. and Akkuş, A. (2021). Fabrication, characterization and wear properties of mullite reinforced silica-doped zirconia ceramic composites. *4. International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC'21)*.
- [6] Hafizoğlu M. A., Akkuş, A. and Boyraz, T. (2021). Fabrication, characterization and wear properties of mullite reinforced Al₂O₃-doped ZrO₂ ceramic composites. *Global Conference on Engineering Research (GLOBECER '21)*.
- [7] Hafizoğlu M. A., Boyraz, T. and Akkuş, A. (2021). Fabrication and characterization of mullite reinforced TiO₂ added ZrO₂

- ceramics. *International Joint Science Congress of Materials and Polymers (ISCMP'21)*.
- [8] Cutler, R. A., Reynolds, J. R. and Jones, A. (1992). Sintering and characterization of polycrystalline monoclinic, tetragonal, and cubic zirconia. *Journal of the American Ceramic Society*, 75(8), 2173-2183.
- [9] Boyacıoğlu, T. (2007). Improvement of room temperature mechanical properties of various amount of metal oxide doping cubic zirconia (c-ZrO₂) used as electrolyte material for solid oxide fuel cells. Gazi University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Master's thesis). 123p.
- [10] Boyraz, T. (1998). Dental porcelain powders. Sakarya University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Master's thesis). 131p.
- [11] Liu, P. F., Li, Z., Xiao, P. et al. (2018). Microstructure and mechanical properties of in-situ grown mullite toughened 3Y-TZP zirconia ceramics fabricated by gelcasting. *Ceramics International*, 44(2), 1394-1403.
- [12] Eichler, J., Rödel, J. et al. (2007). Effect of grain size on mechanical properties of submicrometer 3Y-TZP: fracture strength and hydrothermal degradation. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(9), 2830-2836.
- [13] Sun, J., Gao, L., Iwasa, M., Nakayama, T. and Niihara, K. (2005). Failure investigation of carbon nanotube/3Y-TZP nanocomposites. *Ceramics International*, 31(8), 1131-1134.
- [14] El Ouatib, R., Guillemet, S., Durand, B. et al. (2005). Reactivity of aluminum sulfate and silica in molten alkali-metal sulfates in order to prepare mullite. *Journal of the European Ceramic Society*, 25(1), 73-80.
- [15] Kucuk, I. and Boyraz, T. (2019). Structural and mechanical characterization of mullite and aluminium titanate reinforced yttria stabilized zirconia ceramic composites. *Journal of Ceramic Processing Research*, 20(1), 73-79.
- [16] Kumar, P., Nath, M. et al. (2015). Enhancement of thermal shock resistance of reaction sintered mullite–zirconia composites in the presence of lanthanum oxide. *Materials Characterization*, 101, 34-39.
- [17] Roy, J., Das, S. and Maitra, S. (2015). Solgel-processed mullite coating—a review. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 12, E71-E77.
- [18] Denry, I. and Kelly, J. R. (2008). State of the art of zirconia for dental applications. *Dental materials*, 24(3), 299-307.
- [19] Çitak, E. and Boyraz, T. (2014). Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/YSZ Ceramics. *Acta Physica Polonica A*, 125(2), 465-468.
- [20] Önen, U. and Boyraz, T. (2014). Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/spinel ceramic matrix composites. *Acta Phys. Pol. A*, 125(2), 488-490.
- [21] Sacli, M., Onen, U. and Boyraz, T. (2015). Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/porcelain ceramic matrix composites. *Acta Physica Polonica A*, 127(4), 1133-1135.
- [22] Boyraz, T. and Akkuş, A. (2021). Investigation of wear properties of mullite and aluminium titanate added porcelain ceramics, *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 22, No. 2, pp. 226-231.
- [23] Akkus, A. and Boyraz, T. (2018). Investigation of wear properties of CaO, MgO added stabilized zirconia ceramics produced by different pressing methods. *J Ceram Process Res*, 19(3), 249-52.
- [24] Kucuk, I., Boyraz, T. et al. (2018). Thermomechanical properties of aluminium titanate (Al₂TiO₅)-reinforced forsterite (Mg₂SiO₄) ceramic composites. *Ceramics International*, 44(7), 8277-8282.
- [25] Nath, S., Sinha, N., & Basu, B. (2008). Microstructure, mechanical and tribological properties of microwave sintered calcia-doped zirconia for biomedical applications. *Ceramics International*, 34(6), 1509-1520.
- [26] Yazıcı, E. G. (2013). Production and characterization of MgO partially stabilized zirconia dental ceramics. Afyon Kocatepe University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Master's thesis). 127p.
- [27] Kumar, P., Nath, M., Ghosh, A., & Tripathi, H. S. (2016). Thermo-mechanical properties of mullite—zirconia composites derived from reaction sintering of zircon and sillimanite beach sand: Effect of CaO. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(9), 2397-2403.
- [28] Chandra, D., Das, G., & Maitra, S. (2015). Comparison of the Role of MgO and CaO Additives on the Microstructures of Reaction-Sintered Zirconia–Mullite Composite. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 12(4), 771-782.



Design of Energy Management System Base on lithium-ion Battery

Yusuf Bello Saleh^{1*}, Hasan Kürüm²

^{1*} Division of Agricultural Colleges, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria, (ORCID: 0000-0002-9746-0497), yusufbellosaleh@gmail.com

² Department of Electrical and Electronic Engineering, Firat University, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5498-6819)

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013311)

ATIF/REFERENCE: Umut Özkaya, Konya Technical University, Şaban Öztürk, Amasya University. (2021). Design of Energy Management System Base on lithium-ion Battery. *European Journal of Science and Technology*, (28). 1144-1151.

Abstract

In today's world, green energy is becoming increasingly important. Due to air pollution, electric vehicles are currently the greatest option for the environment, personal and public transportation. Electric vehicles need batteries, which might be hazardous if they are not used in a safe atmosphere. The purpose of this work is to develop a battery management system (BMS) prototype that can track the voltages, currents, and cell balancing of each cell in a battery pack, as well as the temperature of the pack. The batteries in electric vehicles must always be kept under control within their operational safety area (SOA). To achieve the desired voltage and capacity, multiple battery cells are joined. A huge number of cells are necessary to provide the high voltage and capacity required for electric vehicles. This paper developed methods for monitoring each battery cell's functionality and Algorithms for detecting bad cells for replacement in the battery pack and displaying those cells condition on the monitor whether they are good or bad to notify the users, the current conditions of each cell for the user's next line of action. The experiment was carried out using STM32 microcontrollers.

Keywords: Battery pack, cell balancing, Temperature measurement, Current Measurement, voltage Measurement.

Lityum İyon Bataryaya Dayalı Enerji Yönetim Sistemi Tasarımı

Öz

Yeşil enerjiyi kullanmak günümüz dünyasında giderek daha önemli hale gelmektedir. Hava kirliliği nedeniyle elektrikli araçlar şu anda çevre, kişisel ve toplu taşıma için en iyi seçimdir. Elektrikli araçlarda kullanılan piller, güvenli bir çalışma alanında kullanılmadıkları takdirde tehlikeli olabilir. Bu çalışmanın amacı, pil paketindeki her hücrenin gerilimini, akımını, hücre dengelemeyi ve paketin sıcaklığını izleyebilen bir bataryaya yönetim sistemi (BYS) tasarlamaktır. Bunun için, sistemin donanımını ve işleyişini değerlendirmek amacıyla sistemin örnek bir test bileşeninin geliştirilmesi gerekir. Elektrikli araçların, güvenlikleri operasyonel alan (GOA) içerisinde her zaman kontrol altında tutulmalıdır. İstenen gerilim ve kapasiteyi elde etmek için birden fazla pil hücresi birleştirilir. Elektrikli arabalar için gereken yüksek gerilim ve kapasiteye ulaşmak için çok sayıda hücreye ihtiyaç vardır. Bu tezde, her bir pil hücresinin işlevini izleyerek kötü hücreleri tespit etmek ve bu hücreleri pil paketinde değiştirmek üzere bir algoritma geliştirilmiştir. Bu hücrelerin durumu LCD ekranda gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batarya paketi, Hücre dengeleme, Sıcaklık ölçümü, Mevcut ölçüm, voltaj ölçümü

* Corresponding Author: yusufbellosaleh@gmail.com

1. Introduction

The most air pollution and combustion engines in the world are caused by ground emissions. Furthermore, traditional vehicles (fuel) account for 25% of CO₂ emissions and air pollution in the atmosphere. The number of people driving private and public vehicles is increasing, as is air pollution. As a result, electric vehicles are becoming more popular. Electric vehicles are not new to the world, but technological advancements and rising pollution concerns have branded them as the mobility of the future. In addition to the electric motor, the key component of the electric vehicle (EV) is the battery, which replaces internal combustion engines. The rapid progress of power electronics and control systems has cleared the way for a wide range of electric cars to be used. The major purpose of this work was to build a more efficient battery management and control system for use in EV. The basic components of an electric car are as follows: When employing lithium-ion batteries, the BMS, electric motor, motor control, DC-DC converter, EV battery charger, cable system, regenerative brake system, vehicle body, and chassis are all crucial factors. Any electrical system that controls a rechargeable battery by preventing it from functioning outside its SOA and monitoring its state of charge, temperature, voltage, and current is known as a BMS. The batteries of an electric vehicle should always be kept under control. By combining more than one cell in the battery cells, the desired voltage level and energy are generated. To attain the necessary high voltage and energy for electric vehicles, numerous cells are required. To monitor each cell, BMS are required. Measure the voltage and temperature of a cell.

2. Material and Method

2.1. Method

Technology has advanced to the point where stand-alone devices such as microcontrollers may now execute all needed functions without the use of extra hardware. Advanced microcontrollers have evolved into microcomputers, sometimes known as single board computers. These devices are controlled by powerful microcontrollers. These microcontrollers include a large number of integrated circuits on board, allowing them to do a variety of tasks on their own (Yılmaz GÜVEN, 2017). The microcontroller chosen was the STM32F103C8; the microcontroller's functioning is reliant on a minimal number of external components. In this research, the microcontroller's various pins were arranged for communication with external components. The ADC pins and CAN buses of the STM32F103C8 are used to connect to external hardware. This microcontroller has an ARM-based 32-bit MCU with a medium-density performance line, USB, 7 timers, 2 ADCs channels, 64 or 128 KB Flash memory, CAN, and 9 communication connectors. The temperature measurement circuit, Voltage monitoring circuit, current monitoring circuit, balancing circuit and CAN bus are all connected to the microcontroller as shown in the general circuit block diagram in figure 1.

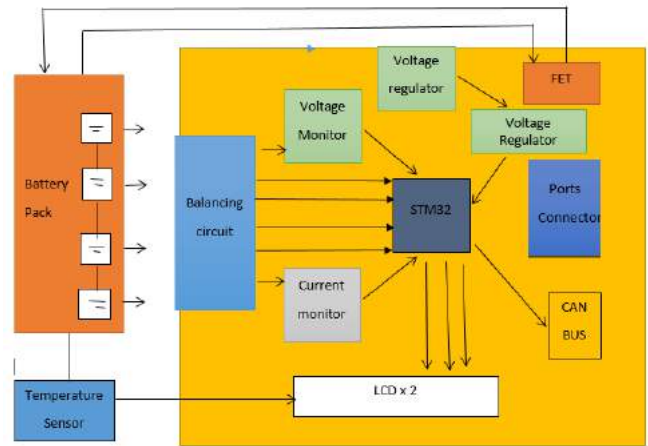


Figure 1: General circuit block diagram

This microcontroller is program by using keil IDE μ vision5. The Negative temperature coefficient (NTC) thermistor temperature sensor is crucial in the measurement and safety of a Li-Ion battery. They provide critical temperature information to help Li-Ion batteries work optimally during the charging process. The charging pace slows down if the battery temperature is too low, and it becomes dangerous if the battery temperature is too high. Maintaining the proper charging temperature range also extends the life of the battery (Raijmakers, Danilov, Eichel, & Notten, 2019). NTC has been monitored the temperature of the battery pack in this research. So, in the battery pack, a thermistor NTC was added in series to each battery cell to monitor the temperature of each cell. We chose to use a 10k thermistor as a variable a resistor connected in series to a fixed resistor of the same value 10k to form a voltage divider and then take that the voltage at the middle to the ADC pins of the STM32 and convert it to a temperature the circuit connection as shown in figure 2, that temperature will be displayed on the LCD using the Steinhart equation.

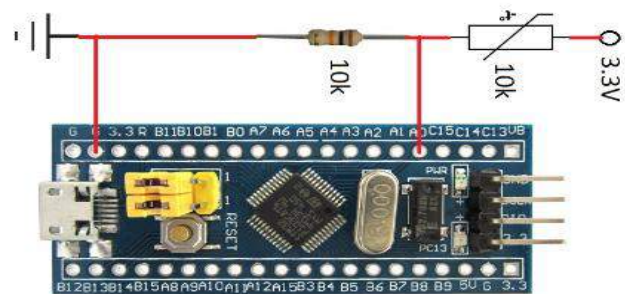


Figure 2: Temperature measurement circuit connection using NTC

Calculating the voltages of individual cells in a series-connected battery is difficult. Because the reference point remains constant in the circuit. Assume that the four cells are all at 4.2 V and thus lighter. When testing the cell voltage with a microcontroller such as the STM32, this can make it easier to measure the voltage of the first cell because the other end is connected to ground. Other cells, on the other hand, must be measured in relation to the voltage of the previous cell; for example, when calculating the voltage of the fourth cell, the voltage of all four cells must be measured simultaneously (Carriero). This is a problem because the reference point cannot be moved. As a result, more circuits must be built with the help of specific voltage calculations. The simplest method is to use a potential divider to map the voltage

levels and then compute them; however, this research will improve the read value resolution to more than 0.1V. When used as a differential amplifier, Op-Amp returns the difference between the two voltage values applied to its inverter and non-inverter pins (Stuart & Zhu, 2011). Two optional differential amplifiers OPA4197 are required to measure the voltage of four cells the voltage result of the four cell is displayed on the LCD monitor. Figure 3 show the entire circuit diagram for multicell voltage measurements in a lithium battery pack using OPA4197.

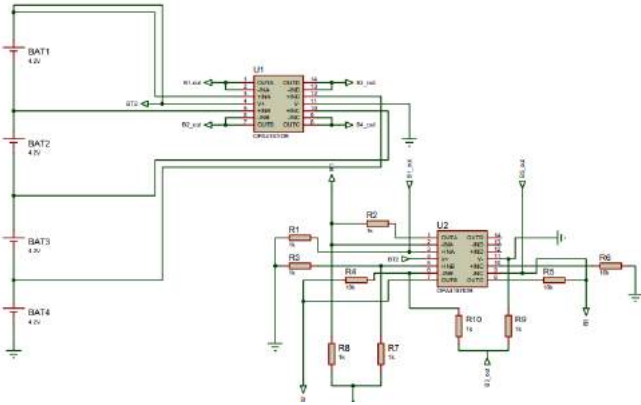


Figure 3: Multi cell voltage measurement using OPA4197 Op-amp

Current sensing has long been a key feature of battery management systems (BMS), which track and protect large batteries. Current measurements are used in both lithium-ion and sealed lead-acid batteries to safeguard the battery from abuse and ensure its safe operation by allowing for emergency shut-down in over-current situations. For security and safety functions alone, the accuracy of existing measurements can be quite inadequate (Do Valle, Wentz, & Sarpeshkar, 2011). The device designer should specify over-current circumstances conservatively such that the safe shut-down threshold is not passed, even if the existing sensor significantly underestimates it. However, in this work, we only consider the current sensing of each cell in order to show such currents on an LCD for user reference and to learn about the current states of the batteries. As a current sensor, the LM358P operational amplifier was employed. Existing sensing requirements, on the other hand, are becoming even more severe in some applications. Electric car manufacturers, in particular, are working hard to increase efficiency and attract users to their vehicles. The LM358 non-inverting terminal is connected to the middle of the load and shunt resistors, which form a voltage divider, the inverting terminal is connected to 4.7K, which is connected to ground, and feedback resistor 22kΩ from the output of the LM358, then 0.1 μF capacitor as filter. The circuit setup for current measurement is shown in figure 4.

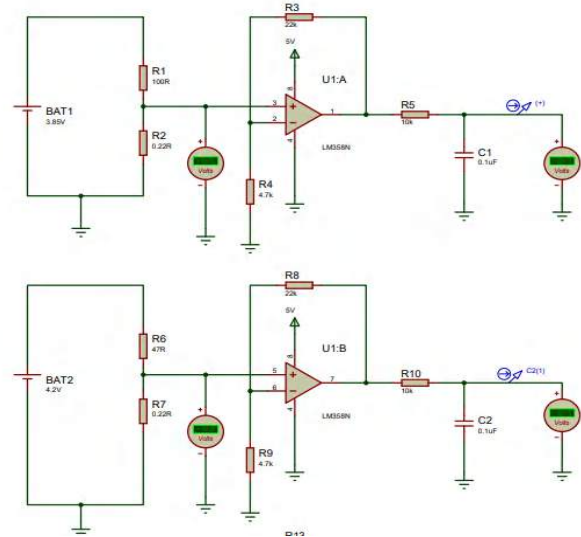


Figure 4: Current measurements circuit

The cell balancing used in this research work is passive cell balancing because it is less expensive in terms of initial cost and space management (Neil Samaddar, 2020), as we are designing a prototype of battery management to come up with a design concept for the BMS. For the cell ON/OFF, a 2N7000 NPN MOSFET was used, and in laboratory practice, a 0.1 μF bypass capacitor and a 100R resistor were used to discharge the excess voltage and equalize it across the other cells. As protection against damage from the high voltage to the microcontroller, a 10KΩ resistor was used between the gate of the MOSFET and the input terminals of the STM32 microcontroller (Cao, 2008). The LED used is turned on to indicate which cell is currently charging and turned off to indicate which cell is fully charged. Figure 5 show the battery balancing setup.

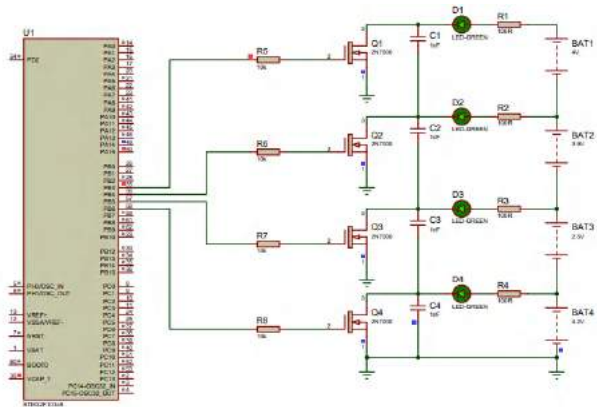


Figure 5: Battery balancing circuit

The charging and discharging circuit governs the charging and load of the battery pack, just like the battery control unit's electrical control unit in this study. Two MOSFETs, the IRF540 and the 2N6845, were used to control the charging and load processes, respectively. A diode was utilized to prevent the passage of energy from the battery to the charger, and two FETs were used to isolate and connect the battery between the charger and the load. The connection was made between the Q2 and Q3 MOSFETs, which control load and charge, respectively. The voltage Q3 is a monitor; if the charger is connected and the battery is disconnected from it, the current injected into the battery causes the voltage to rise to the charger's maximum supply voltage. which alerts the BMS to the availability of a charger to determine

the charging connection, a current is injected into the load to see if there is a load, and then the Q3 driver is started. Figure 6 shown the charging and recharging circuit.

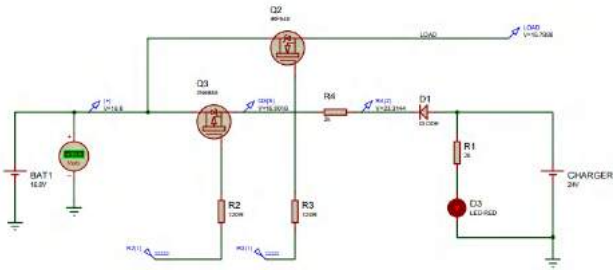


Figure 6: Charging and dsicharing circuit

The circuit components use 5V and 3.3V, and voltage regulators 7805 and LM1117T were used to regulate the voltage to the desired voltage of the various circuit components, as shown in figure 7.

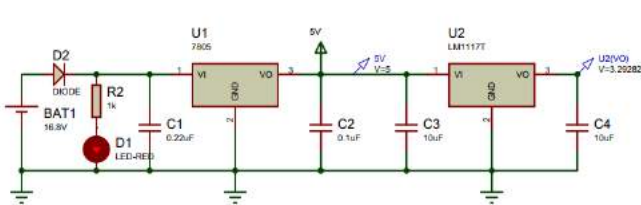


Figure 7: Voltage regulators connection

The circuit components use 5V and 3.3V, and voltage regulators 7805 and LM1117T were used to regulate the voltage to the desired voltage of the various circuit components, as shown in figure 7. A 0.22uF capacitor was added to the input of the 7805 voltage regulator to help smooth out interruptions in the supply as well as law frequency distortion, and a 0.1uF capacitor was added to the regulator's output to filler the voltage. We used a 10uF capacitor for both the input and output of the LM1117T voltage regulator, as described by the manufacturer in the datasheet. A protection diode was added to the input side of the circuit to protect it if the power supply from the battery pack was connected incorrectly. We also added a 10K resistor in series with a Red LED to detect the presence of a power supply in the circuit. The 5V and 3.3V are generated by the output of both regulators. Figure 8 show the experimental setup connection of the entire circuit duirng testing on the breadboard.

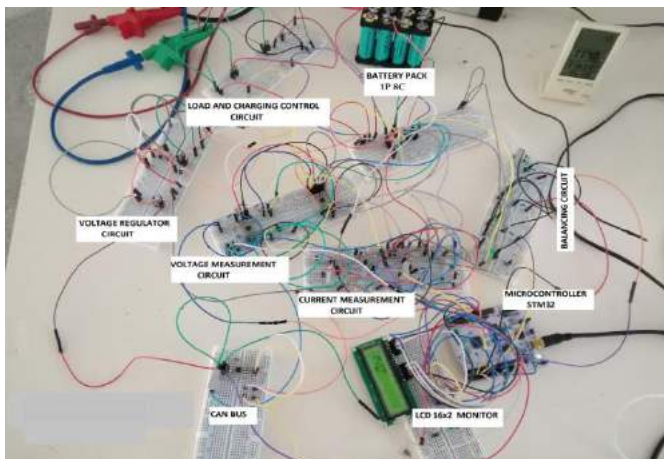


Figure 8: Laboratory experimental setup for general BMS circuit testing on breadboard

2.1.1. The following equations are used for measuring thermistor resistance and Verification of the LM358P OP-Amp Output Voltage.

Because resistors have a tolerance, the exact value of the fixed resistor and thermistor must be calculated for accurate temperature detection. The 9.95kΩ value of the 10kΩ fixed resistor was determined using a multimeter. To determine the actual resistance value of the 10kΩ thermistor resistance (Rt), a connection was made on the breadboard at 24°C. as shown in figure 9.

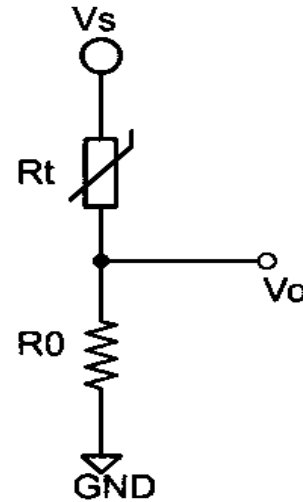


Figure 9: Thermistor resistance measurement circuit connection

Supply voltage (Vs) = 3.3V

Fixed Resistance (Ro) = 9.95KΩ;

Voltage divider (Vo) = 1.57V

Thermistor resistance (Rt) = ?

ADC resolution = 12 bit

To find the actual value of the thermistor (Rt); we have to find the voltage value at point (Vo) by using Voltmeter.

$$V_o = \frac{R_o}{R_o + R_t} \quad (1)$$

$$R_t = \frac{R(V_s - V_o)}{V_o} \quad (2)$$

By using equation 2 above

$$R_t = \frac{9.95k\Omega(3.3 - 1.57)}{1.57} = 10.96K\Omega$$

$$= 10,960\Omega \text{ at } 24^\circ\text{C}$$

2.1.2. ADC values

$$ADC \text{ Voltage} = \frac{V_s}{ADC \text{ bit}} = \frac{3.3V}{2^{12}} = \frac{3.3}{4095} \quad (3)$$

$$= 0.805mV$$

$$ADC\ Values = \frac{V_o}{ADC\ Valtage} = \frac{1.57}{0.805mv} = 1950$$

2.1.3. Verification of the LM358P OP-Amp Output Voltage for current measurement.

Cell_1

Load resistor (RL) =47Ω;

Shunt resistor (RS) = 0.22Ω;

Feedback resistor (Rf) =22kΩ;

In resistor (Rin)= 4.7KΩ;

Voltage (V)= 4.2 at fully charge;

Voltage drop (Vd) across the Shunt resistor (Rs);

$$Vd = \frac{(V * Rs)}{(R_L + Rs)} = \frac{(4.2 * 0.22)}{(47 + 0.22)} = \frac{0.924}{47.22} = 0.195V$$

Load Current (IL)

$$I_L = \frac{V}{R_L} = \frac{4.2}{47} = 0.09A$$

$$Gain = 1 + \left(\frac{Rf}{Rin}\right) = 1 + \frac{22k\Omega}{4.7k\Omega} = 5.68$$

Shunt resistor power rating

$$P = I^2 * R = (0.09)^2 * 0.22 = 0.04W$$

The same procedure is taken for cell 2, 3 and 4 to make sure that the voltage each from the LM358P doest not exceed 5V because to protect the microcontroller from damage the STM32 microcontroller operating volatge is 3.3V to 5V.

2.2. Material

The lists of the components and materials used in this research shown in Table 1.

Table 1: List of the Materials used

S/N	Component	Quantity
1	STM32F103C8	1
2	LM358P	4
3	OPA4197	2
4	LCD 16 x 2	1
5	Potentiometer	1
6	LM1117T	1
7	7805	1
8	CAN tranceiver	1
9	CAN Header	1
10	Resistors	30
11	Capacitors	10
12	T block	2
13	2N6845	1
14	IRF540	1
15	LED	6

2.3. Algorithm

STM32cubeMx was used to configure the various pins utilized by various components in the system for BMS, and Keil ARM vision5 was used to program the system. The program is designed to control a four-cell lithium-ion battery cell module made up of eight batteries connected in parallel. The device continuously monitors the voltages of up to four lithium-ion battery cells. The microcontroller contains ten ADC channels, nine of which were used: four channels for voltage measurement, four channels for current measurements of the cells, and one channel for battery pack temperature monitoring. The microcontroller used four GPIO channels to control cell balancing, and the system also e-ISSN: 2148-2683

included a CAN and a Liquid Crystal Display (LCD). Stm32cubeMX is used to configure all of the microcontroller's pins, St-link utility is used to debug the code into the microcontroller, and Proteus Professional 8 was used to design the hardware circuit. The algorithm was created to check the voltages and currents of the cells, as well as to detect faulty cells and display them on the LCD to alert the user.

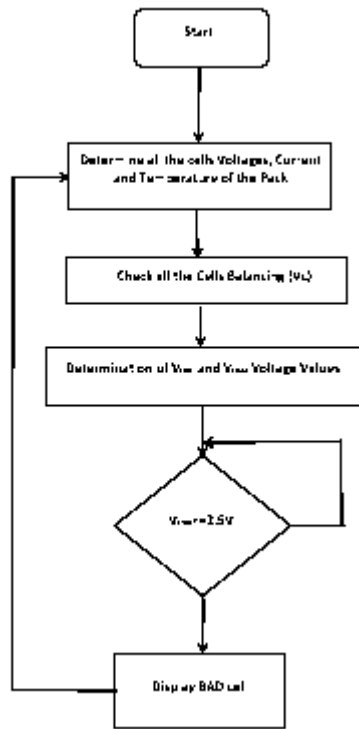


Figure 10: Flowchart Algorithm

Figure 10. shows the flowchart algorithm used for cell balancing and fault detection of any cell that is faulty. Figure 11 and 12 is the PCB layout and 3D view of the BMS implemented respectively.

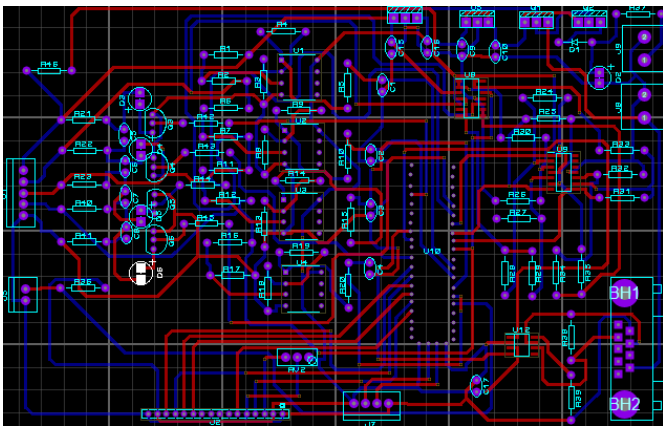


Figure 11: PCB layout

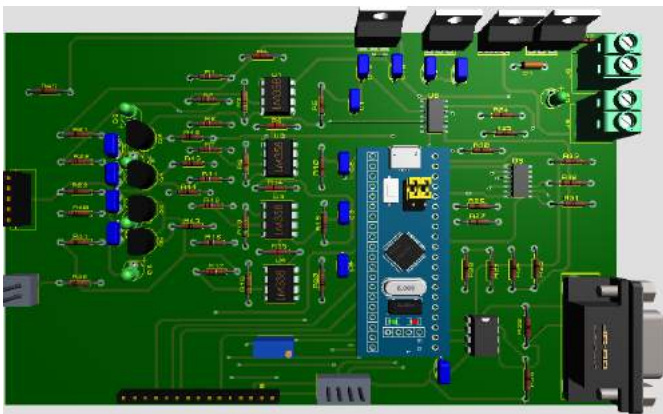


Figure 12: 3D view of the BMS

3. Results and Discussion

3.1. Result

The result obtained during the laboratory experiment showed the circuit is responding according to the design, the temperature is monitor during the experiment on the LCD and also the response of the temperature was also observed from STMstudio as shown in figure 13. The response of the individual cell voltage was equally seen in both the LCD and STMstudio which showed in figure 14. After the charging process of the battery, the batteries attained their maximum charged and the circuit balance the batteries to the same SOC as shown in figure 15. Also, the CAN bus transmission message was also observed in the oscilloscope which was collected in a loopback made as shown in figure 16. The completed laboratory implementation of the BMS final circuit shown in figure 17 and figure 18 BMS detected the Good and Bad Cells.

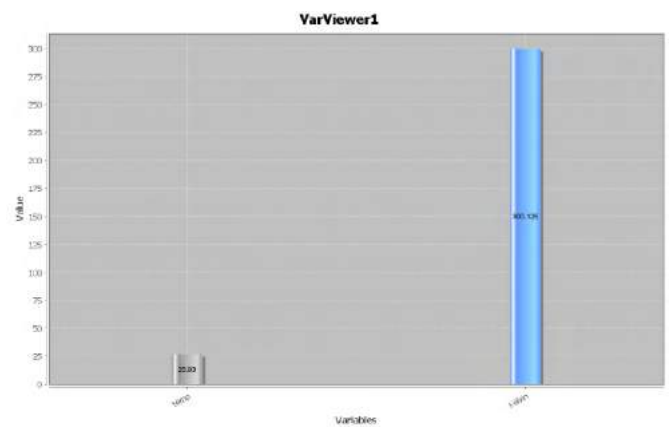


Figure 13: Temperature response of the battery pack

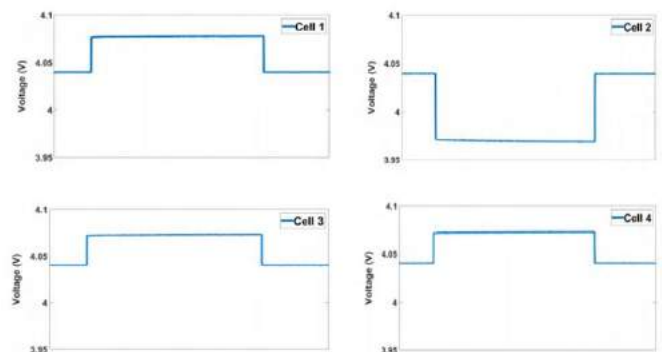


Figure 14: Individual cell voltages respond

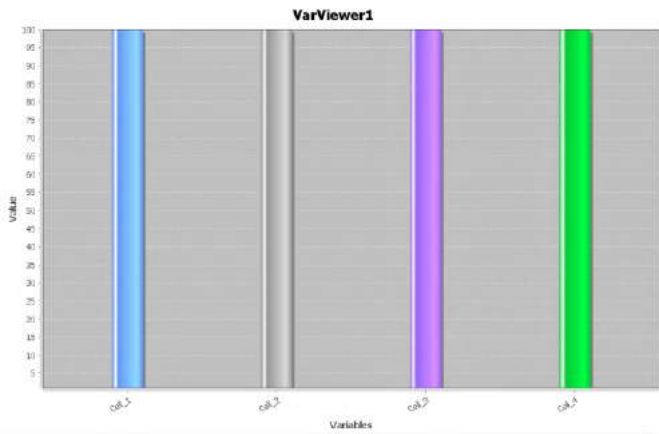


Figure 15: Voltages of the four lithium battery cells at their maximum full charge capacity (100%)

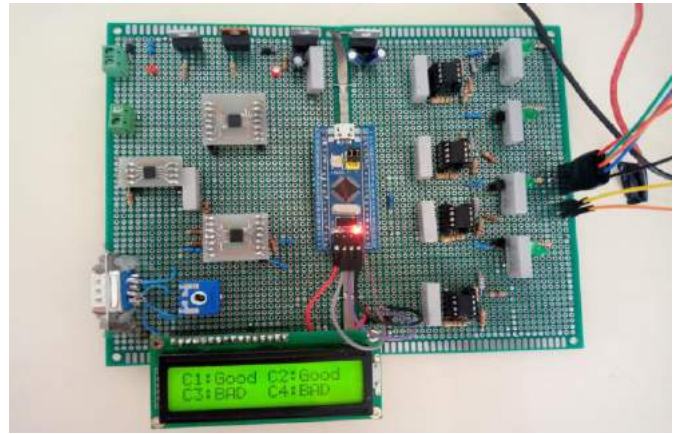


Figure 18: BMS detected the Good and Bad Cells

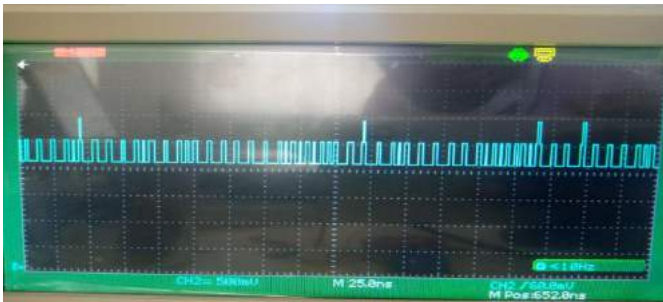


Figure 16: CANH transmission message of the CAN bus

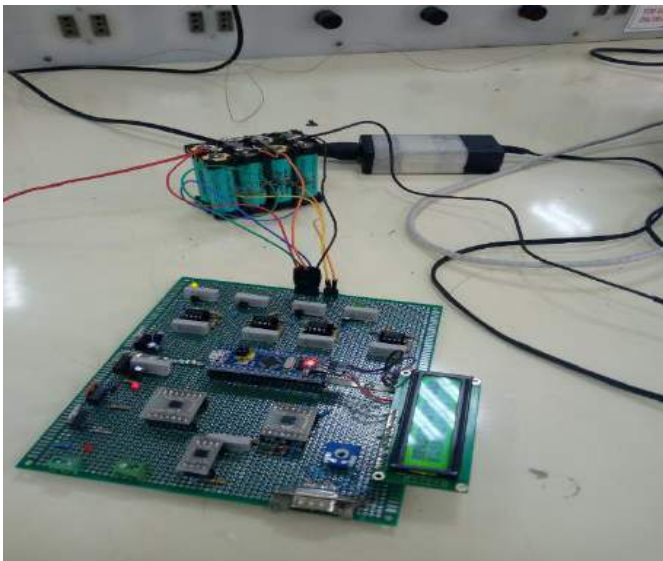


Figure 17: Completed laboratory implementation of the BMS final circuit

3.2 Discussion

The design of the Energy management system is the focus of this paper. Proteus 8 professional was used to create the circuit. The BMS design circuit in this paper consisted of numerous sections, including the power regulator circuit, current measurement circuit, voltage measurement circuit, CAN, temperature measurement, and balancing circuit. From figure 13 the temperature of the battery pack is observed both in celsius and kelvin this value was certified by the weather forecast monitor, the figure shows the individual voltage of the batteries from Stmstudio the same values was also observed on the LCD and Voltmeter. From figure 14 the voltage values of each of the four cells reach the same SOC at the same time that certifies the function of the balancing system and figure 15 shows the message transmitted from the can transceiver CANH which is connected in a loopback mode.

4. Conclusions and Recommendations

As part of this research, a BMS was built that can monitor the cell voltages and currents of each cell, as well as measure the temperature of the battery pack, as well as cell balancing, load and charge control, and an algorithm that can detect any problematic cells in the battery pack. To meet the specific needs of our system, the system architecture designed in this research is centralized architecture topology implemented. All of the system's components were designed and simulated in Proteus 8 professional, and they were also implemented on a breadboard to test their real-world performance before creating a prototype of the entire system. In this study, the Battery Management System is based on a lithium-ion battery 1P 8C with a capacity of 16.8V as a prototype, and all of the system's components were evaluated in the lab and found to be functional. Load and charging control circuits, voltage, current, and temperature measurement, and cell balancing were all integrated together and created the full system in this research, which had a completed design and prototype manufacturing. The laboratory experimental outcome yields a good result that, designed prototype BMS system is functioning perfectly to power any system of its capacity, monitor the voltage, current, temperature and control the cell balancing.

The goal of this paper is to develop a concept for a battery monitoring system that can monitor voltages, current, temperature, and balance battery cells, as well as regulate load and

charging control and detect any malfunctioning cells, in order to keep the battery within its safe operating range. According to the information I have gathered throughout this investigation, there is a need for a larger battery pack for use in electric vehicle operation, which necessitates the use of a significant number of battery cells depending on the capacity required. The microcontroller used in this research is the STM32, which has two ADC channels and ten ADC pins, nine of which were used for each of the four cells' current, voltage, and temperature. If this research work is to be used to any electric car battery storage in the future, a distributed design must be used, and microcontrollers with a higher number of ADC channels and ADC pins must be used to monitor currents, voltages, and temperature of each and every cell. When implementing on tiny power supply capacity EVs such as bike motorcycles, two microcontrollers can be used as a slave and the other as a master via SPI.

5. Acknowledge

Special thanks goes to Prof. Dr. Hasan KÜRÜM beside him Merve YILDIRIM deserves heartfelt gratitude for her important advice and encouragement. I would like to extend my special regards to my Mother Zuwaira Adam for her Constant prayers and Support all the time. I am indebted to my late father Alh. Bello Saleh who's passed away some years ago may his gentle soul rest in perfect peace. And also I thank all my family, friends, and colleagues for making me happy throughout our research period thank you all.

References

- Cao, J., Schofield, N., and Emadi, A. (2008). Battery balancing methods: A comprehensive review. *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*.
- Carriero, C. Battery Stack Monitor Maximizes Performance of Li-Ion Batteries in Hybrid and Electric Vehicles.
- Do Valle, B., Wentz, C. T., & Sarpeshkar, R. (2011). An area and power-efficient analog Li-ion battery charger circuit. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 5(2), 131-137.
- Neil Samaddar, N. S. K., R Jayapragash. (2020). Passive Cell Balancing of Li-Ion batteries used for Automotive Applications. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Raijmakers, L., Danilov, D., Eichel, R.-A., & Notten, P. (2019). A review on various temperature-indication methods for Li-ion batteries. *Applied energy*, 240, 918-945.
- Stuart, T. A., & Zhu, W. (2011). Modularized battery management for large lithium ion cells. *Journal of Power Sources*, 196(1), 458-464.
- Yılmaz GÜVEN, E. C., 3Sıtkı KOCAOĞLU 4Harun GEZİCİ, 5Eray YILMAZLAR. (2017). Understanding the Concept of Microcontroller Based Systems To Choose The Best Hardware For Applications. *International Journal of Engineering And Science*, 6(9), PP -38-44



Hyperbolic Valued Dislocated Metric Spaces

Nilay Değirmen^{1*}

^{1*} Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science and Arts, Department of Mathematics, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8192-8473), nilay.sager@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013323)

ATIF/REFERENCE: Değirmen, N. (2021). Hyperbolic Valued Dislocated Metric Spaces. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1152-1158.

Abstract

In this work, we introduce the concept of a hyperbolic valued dislocated metric space, and we show that a fixed point of self-mappings in such spaces is exist and unique by using Banach, Kannan and Chatterjea type contractions. Furthermore, we discuss an illustrative example to substantiate the applicability and usefulness of our main result.

Keywords: Hyperbolic number, dislocated metric space, fixed point, contraction mapping.

Hiperbolik Değerli Dislocated Metrik Uzaylar

Öz

Bu çalışmada, hiperbolik değerli dislocated metrik uzay kavramını sunduk ve Banach, Kannan ve Chatterjea tip daralmaları kullanarak böyle uzayların kendileri üzerinde tanımlı dönüşümler için bir sabit noktanın var ve tek olduğunu gösterdik. Ayrıca ana sonucumuzun uygulanabilirliğini ve kullanılabilirliğini ispatlamak için açıklayıcı bir örnek verdik.

Anahtar Kelimeler: Hiperbolik sayı, dislocated metrik uzay, sabit nokta, daralma dönüşümü.

* Corresponding Author: nilay.sager@omu.edu.tr

1. Introduction

Fixed point theory has huge applications in mathematics, computer science, engineering, image processing, economics, and statistics. The main goal of researchers is to extend the Banach contraction principle (Banach, 1922) with new contractive conditions in different metric spaces.

In 2000, as a generalization of metric spaces, Hitzler and Seda (2000) defined the concept of a dislocated metric space in which self distance of a point need not be equal to zero. They also stated the celebrated Banach contraction principle in such spaces. The study of fixed points of self-mappings in dislocated metric space is an active part of research in topology, electronic engineering and logic programming with wide range of applications in various directions. For several significant studies, see (Pasicki, 2015; Rahman and Sarwar, 2015; Wadkar et al., 2017; Gaba and Garg, 2019).

Recently, Kumar and Saini (2016) presented the concept of a hyperbolic valued metric space. In 2021, Sager and Sağır (2021) introduced some fixed point theorems for hyperbolic valued metric spaces by defining hyperbolic contraction mapping. Also, Sager and Sağır (2021) proved the existence of unique common fixed point for contraction mappings and a coupled coincidence and unique common coupled fixed point for two mappings on hyperbolic valued metric spaces.

The main aim of this study is to introduce the notion of a hyperbolic valued dislocated metric space and to give some fixed point theorems for our newly obtained contractions that are inspired from the results of Banach (1922), Kannan (1968) and Chatterjea (1972) on such spaces.

2. Material and Method

In this section, we give some necessary definitions and known results from recent literature.

Let i and j be independent imaginary units such that $i^2 = j^2 = -1$, $ij = ji$. The set of bicomplex numbers \mathbf{BC} is defined by

$$\mathbf{BC} = \{z = z_1 + jz_2 : z_1, z_2 \in \mathbb{C}\}.$$

The set \mathbf{BC} is a Banach space with respect to the addition, scalar multiplication and Euclidean norm defined as

$$z + w = (z_1 + jz_2) + (w_1 + jw_2) = (z_1 + w_1) + j(z_2 + w_2),$$

$$\lambda.z = \lambda.(z_1 + jz_2) = \lambda z_1 + j\lambda z_2,$$

$$\|.\|: \mathbf{BC} \rightarrow \mathbb{R}, z \rightarrow |z| = \sqrt{|z_1|^2 + |z_2|^2}$$

for all $z = z_1 + jz_2, w = w_1 + jw_2 \in \mathbf{BC}$ and for all $\lambda \in \mathbb{R}$.

The subset $\{x + ky : k = ij, x, y \in \mathbb{C}\}$ of \mathbf{BC} is the set of hyperbolic numbers, denoted by \mathbf{D} .

Let $z = z_1 + jz_2$ be any bicomplex number in \mathbf{BC} . There are three types of conjugates in \mathbf{BC} as follows:
e-ISSN: 2148-2683

$$z^{\dagger 1} = \overline{z_1} + j\overline{z_2}, \quad z^{\dagger 2} = z_1 - jz_2, \quad z^{\dagger 3} = \overline{z_1} - j\overline{z_2},$$

where $\overline{z_1}, \overline{z_2}$ are the complex conjugates of $z_1, z_2 \in \mathbb{C}$. Also, we know three types moduli as follows:

$$|z|_i^2 = z z^{\dagger 2} = z_1^2 + z_2^2 \in \mathbb{R},$$

$$|z|_j^2 = z z^{\dagger 1} = (|z_1|^2 - |z_2|^2) + j(2\Re(z_1 \cdot \overline{z_2})),$$

$$|z|_k^2 = z z^{\dagger 3} = (|z_1|^2 + |z_2|^2) + k(-\Im(z_1 \cdot \overline{z_2})) \in \mathbf{D}.$$

The numbers $e_1 = \frac{1+ij}{2}$ and $e_2 = \frac{1-ij}{2}$ form idempotent

basis of bicomplex numbers and hence idempotent representation of any bicomplex number $z = z_1 + jz_2$ is uniquely written as $z = e_1\beta_1 + e_2\beta_2$ where $\beta_1 = z_1 - iz_2, \beta_2 = z_1 + iz_2 \in \mathbb{C}$ (Price, 1991).

Let $\alpha = x + ky$ be any hyperbolic number. Then, we have the equality $\alpha = e_1\alpha_1 + e_2\alpha_2$, where $\alpha_1 = x + y, \alpha_2 = x - y \in \mathbb{R}$. If $\alpha_1 \geq 0$ and $\alpha_2 \geq 0$, then α is called a positive hyperbolic number. Therefore, the subset $\{\alpha = e_1\alpha_1 + e_2\alpha_2 : \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0\}$ of \mathbf{D} is the set of positive hyperbolic numbers, and denoted by \mathbf{D}^+ .

For two hyperbolic numbers α and β ; if their difference $\beta - \alpha \in \mathbf{D}^+$ (or $\beta - \alpha \in \mathbf{D}^+ - \{0\}$), then we write $\alpha \preceq \beta$ (or $\alpha \prec \beta$). For $\alpha = e_1\alpha_1 + e_2\alpha_2, \beta = \beta_1e_1 + \beta_2e_2 \in \mathbf{D}$ with real numbers $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1$ and β_2 , we have that

- $\alpha \preceq \beta$ if and only if $\alpha_1 \leq \beta_1$ and $\alpha_2 \leq \beta_2$,
- $\alpha \prec \beta$ if and only if $\alpha \neq \beta, \alpha_1 \leq \beta_1$ and $\alpha_2 \leq \beta_2$,
- $\alpha \prec \beta$ if and only if $\alpha_1 < \beta_1$ and $\alpha_2 < \beta_2$.

The following statements are true for any $\alpha, \beta, \gamma, \delta \in \mathbf{D}, z, w \in \mathbf{BC}$:

- (i) $|z + w|_k \preceq |z|_k + |w|_k, |zw|_k = |z|_k |w|_k$ and $\left|\frac{z}{w}\right|_k = \frac{|z|_k}{|w|_k}$ where w is invertible.
- (ii) If $\alpha \in \mathbf{D}^+$, then $|\alpha|_k = \alpha$ and $|\alpha z|_k = \alpha |z|_k$.
- (iii) $|z|_k = |\beta_1|e_1 + |\beta_2|e_2$ for $z = \beta_1e_1 + \beta_2e_2$.
- (iv) If $\alpha \preceq \beta$ and $\gamma \preceq \delta$, then $\alpha + \gamma \preceq \beta + \delta$.
- (v) If $\alpha \preceq \beta$ and $0 \preceq \gamma$, then $\alpha\gamma \preceq \beta\gamma$.
- (vi) If $\alpha \preceq \beta$ and $\beta \preceq \gamma$, then $\alpha \preceq \gamma$ (Luna-Elizarrarás et al., 2015).

(vii) If $\alpha \in \mathbf{D}^+$, $\alpha \neq 1$ and $1-\alpha$ is invertible, then

$$1 + \alpha + \alpha^2 + \dots + \alpha^n = \frac{1 - \alpha^{n+1}}{1 - \alpha}$$

for all $n \in \mathbb{N}$.

(viii) If $\alpha \in \mathbf{D}^+$ and $\alpha < 1$, then $0 \prec \alpha^n < 1$ for all $n \in \mathbb{N}$ and $\alpha^n \rightarrow 0$ (Sager and Sağır, 2021).

The following concept are recently defined by Kumar and Saini (2016).

Definition 2.1. Let X be a nonempty set and let $d_D : X \times X \rightarrow \mathbf{D}$ be a function such that the following properties hold:

(i) $0 \prec d_D(x, y)$, and $d_D(x, y) = 0$ if and only if $x = y$.

(ii) $d_D(x, y) = d_D(y, x)$.

(iii) $d_D(x, z) \prec d_D(x, y) + d_D(y, z)$

for any $x, y, z \in X$. Then, d_D is said to be a \mathbf{D} -valued or hyperbolic valued metric on X and the pair (X, d_D) is said to be a hyperbolic valued or \mathbf{D} -valued metric space.

Definition 2.2. (Zeyada et al., 2006) Let X be a nonempty set and let $d : X \times X \rightarrow [0, \infty)$ be a function satisfying the following conditions:

(i) If $d(x, y) = 0$, then $x = y$.

(ii) $d(x, y) = d(y, x)$.

(iii) $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$

3. Results

Now, we give the following definitions at the beginning of this section.

Definition 3.1. Let X be a nonempty set and let $d_D^{dis} : X \times X \rightarrow \mathbf{D}^+$ be a mapping such that the following properties hold:

(i) If $d_D^{dis}(x, y) = 0$, then $x = y$.

(ii) $d_D^{dis}(x, y) = d_D^{dis}(y, x)$.

(iii) $d_D^{dis}(x, z) \prec d_D^{dis}(x, y) + d_D^{dis}(y, z)$

for any $x, y, z \in X$. Then, d_D^{dis} is said to be a hyperbolic valued dislocated metric or \mathbf{D} -valued d -metric on X and

for all $x, y, z \in X$. Then, d is said to be a dislocated metric or d -metric on X and the pair (X, d) is said to be a dislocated metric or d -metric space.

It is evident that metric spaces are d -metric spaces. However the converse may not always be true by the next example.

Example 2.3. (Rahman and Sarwar, 2015) Let $d : [0, \infty) \times [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ be defined by $d(x, y) = \max\{x, y\}$. It is simple to show that d is a d -metric but not a metric.

Definition 2.4. (Hitzler and Seda, 2000) Let (X, d) be a d -metric space. A mapping $T : X \rightarrow X$ is said to be a contraction if there exists $0 \leq \alpha < 1$ such that

$$d(Tx, Ty) \leq \alpha d(x, y)$$

for all $x, y \in X$.

Theorem 2.5. (Hitzler and Seda, 2000) Let (X, d) be a complete d -metric space and let $T : X \rightarrow X$ be a contraction. Then, T has a unique fixed point.

the pair (X, d_D^{dis}) is said to be a hyperbolic valued dislocated metric or \mathbf{D} -valued d -metric space.

Definition 3.2. Let (X, d_D^{dis}) be a \mathbf{D} -valued d -metric space, (x_n) be any sequence in X and $x \in X$. If for every $0 \prec \varepsilon \in \mathbf{D}$ there exists $n_0 \in \mathbb{N}$ depending on ε such that $d_D^{dis}(x_n, x) \prec \varepsilon$ for all $n \geq n_0$ then we say that (x_n) is d_D^{dis} -convergent, and denoted by $x_n \xrightarrow{d_D^{dis}} x$ as $n \rightarrow \infty$.

If for every $0 \prec \varepsilon \in \mathbf{D}$ there exists $n_0 \in \mathbb{N}$ depending on ε such that $d_D^{dis}(x_n, x_m) \prec \varepsilon$ for all $n, m \geq n_0$ then we say that (x_n) is a d_D^{dis} -Cauchy sequence.

If every d_D^{dis} -Cauchy sequence is d_D^{dis} -convergent in (X, d_D^{dis}) , then we say that (X, d_D^{dis}) is a complete D -valued d -metric space.

Definition 3.3. Let (X, d_D^{dis}) be a hyperbolic valued dislocated metric space. A mapping $T : X \rightarrow X$ is said to be a D -valued d -contraction if there exists $0 \prec \alpha \prec 1$ such that

$$d_D^{dis}(Tx, Ty) \prec \alpha d_D^{dis}(x, y) \tag{3.1}$$

for all $x, y \in X$ where the hyperbolic number $1-\alpha$ is invertible.

Based on the idea of the Banach's fixed point theorem (Banach, 1922) in classical metric spaces, we establish the following main theorem which implies the existence and uniqueness of a fixed point on complete hyperbolic valued dislocated metric spaces.

Theorem 3.4. Let (X, d_D^{dis}) be a complete hyperbolic valued dislocated metric space and T be a D -valued d -contraction on X . Then, T has a unique fixed point.

Proof. Choose $x_0 \in X$ arbitrarily. There exists $x_1 \in X$ such that $Tx_0 = x_1$. Continuing in the same manner, we construct the sequence (x_n) in X such that $Tx_n = x_{n+1}$.

Let $m, n \in \mathbb{N}$ and $m < n$. Then, by a similar way to proof of main theorem in (Sager and Sağır, 2021), we obtain the inequality

$$d_D^{dis}(x_m, x_n) \prec \alpha^m d_D^{dis}(x_0, x_1) \frac{1}{1-\alpha}$$

and so (x_n) is a d_D^{dis} -Cauchy sequence. The completeness of

X explains that there is a point $x \in X$ such that $x_n \xrightarrow{d_D^{dis}} x$ as $n \rightarrow \infty$.

Now, we prove that $x = Tx$. Suppose this is not true: $x \neq Tx$. Taking $d_D^{dis}(x, Tx) = \varepsilon$ we set

$$B = \left\{ z \in X : d_D^{dis}(x, z) \prec \left(\frac{1}{4}e_1 + \frac{1}{4}e_2 \right) \varepsilon \right\}.$$

For $z \in B$, we write

$$\begin{aligned} \varepsilon &= d_D^{dis}(x, Tx) \prec d_D^{dis}(x, z) + d_D^{dis}(z, Tx) \\ &\prec \left(\frac{1}{4}e_1 + \frac{1}{4}e_2 \right) \varepsilon + d_D^{dis}(z, Tx) \end{aligned}$$

$$\text{and so } \left(\frac{3}{4}e_1 + \frac{3}{4}e_2 \right) \varepsilon \prec d_D^{dis}(z, Tx).$$

On the other hand, since (x_n) d_D^{dis} -converges to x , there is a natural number n_0 such that $d_D^{dis}(x_n, x) \prec \left(\frac{1}{4}e_1 + \frac{1}{4}e_2 \right) \varepsilon$ for all $n \geq n_0$. This means $x_n \in B$ for all $n \geq n_0$. Then, by (3.1) we have

$$\begin{aligned} d_D^{dis}(x_{n_0+1}, Tx) &= d_D^{dis}(Tx_{n_0}, Tx) \prec \alpha d_D^{dis}(x_{n_0}, x) \\ &\prec d_D^{dis}(x_{n_0}, x) \prec \left(\frac{1}{4}e_1 + \frac{1}{4}e_2 \right) \varepsilon \\ &\prec \left(\frac{3}{4}e_1 + \frac{3}{4}e_2 \right) \varepsilon \prec d_D^{dis}(x_{n_0+1}, Tx) \end{aligned}$$

and this is a contradiction. Hence $x = Tx$. This implies that x is a fixed point of the mapping T .

To show that the fixed point is unique, suppose that there is an element $x^* \neq x$ in X such that $Tx^* = x^*$. Then, we have $d_D^{dis}(Tx, Tx^*) = d_D^{dis}(x, x^*)$. This shows that the condition (3.1) is not satisfied. But this is a contradiction, hence fixed point is unique.

Example 3.5. Define a mapping $d_D^{dis} : D^+ \times D^+ \rightarrow D^+$ as

$$d_D^{dis}(\alpha, \beta) = \max\{\alpha_1, \beta_1\}e_1 + \max\{\alpha_2, \beta_2\}e_2,$$

where $\alpha = \alpha_1e_1 + \alpha_2e_2, \beta = \beta_1e_1 + \beta_2e_2 \in D^+$. Then, it can be easily showed that (D^+, d_D^{dis}) is a complete D -valued d -metric space.

Consider a mapping T on D^+ with $\gamma = \gamma_1e_1 + \gamma_2e_2$ as

$$T\gamma = \begin{cases} \frac{2\gamma_1 + (\gamma_1)^3}{9}e_1 + \frac{2\gamma_2 + (\gamma_2)^3}{9}e_2, & \gamma_1, \gamma_2 \in [0, 1) \\ \frac{2\gamma_1 + (\gamma_1)^3}{9}e_1 + \frac{\gamma_2}{17}e_2, & \gamma_1 \in [0, 1), \gamma_2 \in [1, \infty) \\ \frac{\gamma_1}{17}e_1 + \frac{2\gamma_2 + (\gamma_2)^3}{9}e_2, & \gamma_1 \in [1, \infty), \gamma_2 \in [0, 1) \\ \frac{\gamma_1}{17}e_1 + \frac{\gamma_2}{17}e_2, & \gamma_1 \in [1, \infty), \gamma_2 \in [1, \infty) \end{cases}$$

Let $\alpha_1, \alpha_2 \in [0, 1)$ and $\beta_1, \beta_2 \in [1, \infty)$. Then, we have

$$\begin{aligned}
 d_D^{dis}(T\alpha, T\beta) &= d_D^{dis}\left(\frac{2\alpha_1+(\alpha_1)^3}{9}e_1+\frac{2\alpha_2+(\alpha_2)^3}{9}e_2, \frac{\beta_1}{17}e_1+\frac{\beta_2}{17}e_2\right) \\
 &= \max\left\{\frac{2\alpha_1+(\alpha_1)^3}{9}, \frac{\beta_1}{17}\right\}e_1+\max\left\{\frac{2\alpha_2+(\alpha_2)^3}{9}, \frac{\beta_2}{17}\right\}e_2 \\
 &\preceq \max\left\{\frac{\alpha_1}{3}, \frac{\beta_1}{17}\right\}e_1+\max\left\{\frac{\alpha_2}{3}, \frac{\beta_2}{17}\right\}e_2 \\
 &\preceq \frac{1}{3}\max\{\alpha_1, \beta_1\}e_1+\frac{1}{3}\max\{\alpha_2, \beta_2\}e_2 \\
 &= \left(\frac{1}{3}e_1+\frac{1}{3}e_2\right)d_D^{dis}(\alpha, \beta).
 \end{aligned}$$

Also, the other cases for $\alpha, \beta \in D^+$ can be easily proved in a similar way as above.

Then, the inequality

$$d_D^{dis}(T\alpha, T\beta) \preceq \left(\frac{1}{3}e_1+\frac{1}{3}e_2\right)d_D^{dis}(\alpha, \beta)$$

holds for all $\alpha, \beta \in D^+$. Thus, the mapping T is a D -valued d -contraction mapping since $0 \prec \frac{1}{3}e_1+\frac{1}{3}e_2 \prec 1$ and $1-\left(\frac{1}{3}e_1+\frac{1}{3}e_2\right)=\frac{2}{3}e_1+\frac{2}{3}e_2$ is invertible. Therefore, T has a fixed point $\gamma = 0 \in D^+$, which is unique.

The following result is a new version of Kannan's fixed point theorem (Kannan, 1968) in hyperbolic valued dislocated metric spaces.

Theorem 3.6. Let (X, d_D^{dis}) be a complete hyperbolic valued dislocated metric space and $T : X \rightarrow X$ be a mapping. If there exists $0 \preceq \alpha \prec \frac{1}{2}$ such that

$$d_D^{dis}(Tx, Ty) \preceq \alpha [d_D^{dis}(x, Tx) + d_D^{dis}(y, Ty)] \quad (3.2)$$

for all $x, y \in X$ where the hyperbolic number $1-\alpha$ is invertible, then T has a unique fixed point.

Proof. Choose $x_0 \in X$ arbitrarily. Consider the sequence (x_n) in X such that $Tx_0 = x_1$ and $Tx_n = x_{n+1}$.

By (3.2), we have

$$\begin{aligned}
 d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) &= d_D^{dis}(Tx_{n-1}, Tx_n) \\
 &\preceq \alpha [d_D^{dis}(x_{n-1}, Tx_{n-1}) + d_D^{dis}(x_n, Tx_n)] \\
 &= \alpha [d_D^{dis}(x_{n-1}, x_n) + d_D^{dis}(x_n, x_{n+1})]
 \end{aligned}$$

and so

$$\begin{aligned}
 d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) &\preceq \frac{\alpha}{1-\alpha} d_D^{dis}(x_{n-1}, x_n) \\
 &\preceq \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^2 d_D^{dis}(x_{n-2}, x_{n-1}) \\
 &\vdots \\
 &\preceq \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n d_D^{dis}(x_0, x_1).
 \end{aligned}$$

For $m, n \in \mathbb{N}$ and $m > n$, we write

$$\begin{aligned}
 d_D^{dis}(x_n, x_m) &\preceq d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) + d_D^{dis}(x_{n+1}, x_{n+2}) + \dots + d_D^{dis}(x_{m-1}, x_m) \\
 &\preceq \left[\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{n+1} + \dots + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{m-1}\right] d_D^{dis}(x_0, x_1) \\
 &= \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n \left[1 + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) + \dots + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{m-n-1}\right] d_D^{dis}(x_0, x_1) \\
 &= \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n \frac{1-\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{m-n}}{1-\frac{\alpha}{1-\alpha}} d_D^{dis}(x_0, x_1) \\
 &\preceq \frac{\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n}{1-\frac{\alpha}{1-\alpha}} d_D^{dis}(x_0, x_1).
 \end{aligned}$$

Since $d_D^{dis}(x_0, x_1) \in D^+$ is fixed and $\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n \prec 1$, we

can make $\frac{\left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n}{1-\frac{\alpha}{1-\alpha}} d_D^{dis}(x_0, x_1)$ as small as we want by

taking n sufficiently large. It follows that (x_n) is a d_D^{dis} -Cauchy sequence. By the completeness of X , there is a point $x \in X$ such that $x_n \xrightarrow{d_D^{dis}} x$ as $n \rightarrow \infty$.

Now, we prove that $x = Tx$. Then, we have

$$\begin{aligned}
 d_D^{dis}(x, Tx) &\preceq d_D^{dis}(x, x_n) + d_D^{dis}(x_n, Tx) \\
 &= d_D^{dis}(x, x_n) + d_D^{dis}(Tx_{n-1}, Tx) \\
 &\preceq d_D^{dis}(x, x_n) + \alpha \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^{n-1} d_D^{dis}(x_0, x_1) + \alpha d_D^{dis}(x, Tx),
 \end{aligned}$$

and so

$$d_D^{dis}(x, Tx) \preceq \frac{1}{1-\alpha} d_D^{dis}(x, x_n) + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)^n d_D^{dis}(x_0, x_1).$$

Therefore we obtain that $d_D^{dis}(x, Tx) = 0$ letting $n \rightarrow \infty$ hence $Tx = x$. This shows that x is a fixed point of the mapping T .

Also, for any fixed point x of the mapping T we get

$$\begin{aligned} d_D^{dis}(x, x) &= d_D^{dis}(Tx, Tx) \\ &\preceq \alpha [d_D^{dis}(x, Tx) + d_D^{dis}(x, Tx)] \\ &= \alpha [d_D^{dis}(x, x) + d_D^{dis}(x, x)] \\ &= 2\alpha d_D^{dis}(x, x) \end{aligned}$$

and so, $(1-2\alpha)d_D^{dis}(x, x) \preceq 0$. This implies that $d_D^{dis}(x, x) = 0$ since $0 \preceq \alpha \prec \frac{1}{2}$.

To show that the fixed point is unique, we assume that there is an element $x^* \neq x$ in X such that $Tx^* = x^*$. Then, we have

$$\begin{aligned} d_D^{dis}(x, x^*) &= d_D^{dis}(Tx, Tx^*) \\ &\preceq \alpha [d_D^{dis}(x, Tx) + d_D^{dis}(x^*, Tx^*)] \\ &= \alpha [d_D^{dis}(x, x) + d_D^{dis}(x^*, x^*)] \\ &= 0 \end{aligned}$$

But this is impossible, hence fixed point is unique.

We now state another theorem which is an extension of Chatterjea's fixed point result (Chatterjea, 1972) for self-mappings on hyperbolic valued dislocated metric spaces as follows:

Theorem 3.7. Let (X, d_D^{dis}) be a complete hyperbolic valued dislocated metric space and $T : X \rightarrow X$ be a continuous mapping. If there exists $0 \preceq \alpha \prec \frac{1}{4}$ such that

$$d_D^{dis}(Tx, Ty) \preceq \alpha [d_D^{dis}(x, Ty) + d_D^{dis}(y, Tx)] \quad (3.3)$$

for all $x, y \in X$ where the hyperbolic number $1-\alpha$ is invertible, then T has a unique fixed point.

Proof. Choose $x_0 \in X$ arbitrarily. Consider the sequence (x_n) in X such that $Tx_0 = x_1$ and $Tx_n = x_{n+1}$.

By (3.3), we have

$$\begin{aligned} d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) &= d_D^{dis}(Tx_{n-1}, Tx_n) \\ &\preceq \alpha [d_D^{dis}(x_{n-1}, Tx_n) + d_D^{dis}(x_n, Tx_{n-1})] \\ &= \alpha [d_D^{dis}(x_{n-1}, x_{n+1}) + d_D^{dis}(x_n, x_n)] \\ &\preceq \alpha [d_D^{dis}(x_{n-1}, x_n) + d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) + d_D^{dis}(x_n, x_{n-1}) + d_D^{dis}(x_{n-1}, x_n)] \\ &= \alpha d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) + 3\alpha d_D^{dis}(x_{n-1}, x_n) \end{aligned}$$

and so

$$\begin{aligned} d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) &\preceq \frac{3\alpha}{1-\alpha} d_D^{dis}(x_{n-1}, x_n) \\ &\preceq \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^2 d_D^{dis}(x_{n-2}, x_{n-1}) \\ &\vdots \\ &\preceq \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^n d_D^{dis}(x_0, x_1). \end{aligned}$$

Let $m, n \in \mathbb{N}$ and $m > n$. Thus, we can write

$$\begin{aligned} d_D^{dis}(x_n, x_m) &\preceq d_D^{dis}(x_n, x_{n+1}) + d_D^{dis}(x_{n+1}, x_{n+2}) + \dots + d_D^{dis}(x_{m-1}, x_m) \\ &\preceq \left[\left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^n + \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^{n+1} + \dots + \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^{m-1}\right] d_D^{dis}(x_0, x_1) \\ &= \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^n \left[1 + \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right) + \dots + \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^{m-n-1}\right] d_D^{dis}(x_0, x_1) \\ &= \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^n \frac{1 - \left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^{m-n}}{1 - \frac{3\alpha}{1-\alpha}} d_D^{dis}(x_0, x_1) \\ &\prec \frac{\left(\frac{3\alpha}{1-\alpha}\right)^n}{1 - \frac{3\alpha}{1-\alpha}} d_D^{dis}(x_0, x_1). \end{aligned}$$

Similarly as in the proof of Theorem 3.6, it follows that (x_n) is a d_D^{dis} -Cauchy sequence, and so there exists a point $x \in X$ such that $x_n \xrightarrow{d_D^{dis}} x$ as $n \rightarrow \infty$ by the completeness of X .

On the other hand, since T is a continuous mapping, $x_n \xrightarrow{d_D^{dis}} x$ as $n \rightarrow \infty$ and $x_{n+1} = Tx_n$, we deduce that $Tx = x$, that is, x is a fixed point of the mapping T .

To prove that this fixed point is unique, we assume that there is an element $x^* \neq x$ in X such that $Tx^* = x^*$. Then, we have

$$\begin{aligned}
d_D^{dis}(x, x^*) &= d_D^{dis}(Tx, Tx^*) \\
&\prec \alpha \left[d_D^{dis}(x, Tx^*) + d_D^{dis}(x^*, Tx) \right] \\
&= \alpha \left[d_D^{dis}(x, x^*) + d_D^{dis}(x^*, x) \right] \\
&= 2\alpha d_D^{dis}(x, x^*)
\end{aligned}$$

and so, $(1-2\alpha)d_D^{dis}(x, x^*) \prec 0$. This implies that

$d_D^{dis}(x, x^*) = 0$ since $0 \prec \alpha \prec \frac{1}{4}$. But this is impossible,

hence fixed point is unique.

4. Conclusion

In this study, inspired by the ideas of dislocated metric spaces and hyperbolic valued metric spaces, we introduce hyperbolic valued dislocated metric spaces, and we state some fixed point theorems for self-mappings with Banach, Kannan and Chatterjea type contractions on such spaces. Our new findings carry some well known results from the recent literature to hyperbolic valued dislocated metric spaces. Using different contractive conditions, it can be established new fixed point results for hyperbolic valued dislocated metric spaces.

References

- Banach, S. (1922). Sur les opérations dans les ensembles abstraits et leur application aux équations intégrales. *Fund. Math.*, 3(1), 133-181.
- Chatterjea, S. K. (1972). Fixed-point theorems. *C. R. Acad. Bulgare Sci.*, 25, 727-730.
- Gaba H. & Garg A. K. (2019). Some fixed point results for contraction in dislocated metric space. *International Journal on Emerging Technologies*, 10(2b), 147-150.
- Hitzler, P., & Seda, A. K. (2000). Dislocated topologies. *J. Electr. Eng.*, 51(12), 3-7.
- Kannan, R. (1968). Some results on fixed points. *Bull. Cal. Math. Soc.*, 60, 71-76.
- Kumar, R., & Saini, H. (2016). Topological bicomplex modules. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 26(4), 1249-1270.
- Luna-Elizarrarás, M. E., Shapiro, M., Struppa, D. C., & Vajiac, A. (2015). *Bicomplex holomorphic functions: the algebra, geometry and analysis of bicomplex numbers*. Birkhäuser.
- Pasicki, L. (2015). Dislocated metric and fixed point theorems. *Fixed Point Theory and Applications*, 2015(1), 1-14.
- Price, G. B. (1991). *An introduction to multicomplex spaces and functions*. M. Dekker.
- Rahman, M. U., & Sarwar, M. (2015). Fixed point theorems for expanding mappings in dislocated metric space. *Mathematical Sciences Letters*, 4(1), 69-73.
- Sager, N., & Sağır, B. (2021). Fixed points of hyperbolic contraction mappings on hyperbolic valued metric spaces. *Sarajevo Journal of Mathematics*, 17(2). (in print)
- Sager, N., & Sağır, B. (2021). Common fixed, coupled coincidence and common coupled fixed point results in hyperbolic valued metric spaces. *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*. (accepted for publication)
- Wadkar, B. R., Bhardwaj, R., & Singh, B. (2017). Some fixed point theorems in dislocated metric space. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 13(6), 2089-2110.

Zeyada, F. M., Hassan, G. H., & Ahmed, M. A. (2006). A generalization of a fixed point theorem due to Hitzler and Seda in dislocated quasi-metric spaces. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 31(1A), 111-114.



Sürtünme Karıştırma İşleminin Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen AlSi10Mg Alaşımının Tribolojik Özelliklerine Etkisi

Hüccet Kahramanzade^{1*}, Yaşar Sert², Tevfik Küçükömeroğlu³

^{1*}Karadeniz Teknik Üniversite, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID ID 0000-0002-9078-1933), h.kahramanzade@ktu.edu.tr

^{2*}Karadeniz Teknik Üniversite, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID ID 0000-0001-7742-0335), yasarsert@ktu.edu.tr

^{3*}Karadeniz Teknik Üniversite, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID ID 0000-0002-4392-9966), tkomer@ktu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013345)

ATIF/REFERENCE: Kahramanzade, H., Sert, Y. & Küçükömeroğlu, T. (2021). Sürtünme Karıştırma İşleminin Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen AlSi10Mg Alaşımının Tribolojik Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1159-1166.

Öz

Eklemeli imalat yöntemi son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlayan imalat yöntemlerinden biri olarak göze çarpmaktadır. Bu üretim teknolojisi çelik, titanyum, kobalt, bakır ve nikel alaşımlarının yanı sıra Al-Si alaşımlarının üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Al-Si alaşımlarının arasında Al-Si10Mg alaşımı yüksek mekanik ve korozyon dayanımı özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Günümüzde, AlSi10Mg alaşımları otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Söz konusu alaşımların uygulama alanlarında kullanım performansını geliştirmek adına bazı tane inceltme amaçlı yöntemler ön plana çıkmıştır. Bu yöntemler arasında, sürtünme karıştırma kaynağından türetilen sürtünme karıştırma işlemi, tane inceltme ve aşırı plastik deformasyon yöntemi olarak göze çarpmaktadır. Bu çalışmada sürtünme karıştırma işleminin (SKİ) eklemeli imalat yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının mikro yapı, sertlik ve aşınma özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, eklemeli imalat yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımlarının yüzeyine 1200 dev/dk takım dönme hızı, 40 mm/dk takım ilerleme hızı, 6000 N takım baskı kuvveti ve 2° takım açısı ile SKİ gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yapısal analizleri, sertlik ve aşınma özellikleri sırasıyla optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu, mikro-sertlik test cihazı ve atmosfer ve vakum ortamında olmak üzere bilye disk tipi aşınma test cihazında belirlenmiştir. SKİ sonrasında eklemeli imalattan doğan katmanlı içyapı ortadan kaldırılmış olup daha düzgün bir yapı elde edilmiştir. İşlemsiz numunenin sertliği 104,5 HV_{0,01} elde edilirken, işlemlenmiş numunede bu değer 98,6 HV_{0,01} olarak belirlenmiştir. SKİ'nin alaşımın aşınma performansına olan etkilerine bakıldığında, atmosfer ortamında yaklaşık %40'lık bir iyileşme söz konusudur. Vakum ortamında bu değer yaklaşık %10 mertebelerindedir. Atmosfer ortamında baskın aşınma mekanizmasının abrazyif aşınma olduğu, vakum ortamında ise kütle transferinin etken olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Sürtünme Karıştırma İşlemi, Aşınma, Sertlik, Vakum

Effect of the Friction Stir Processing on Tribological Properties of AlSi10Mg Alloy Produced by Additive Manufacturing Method

Abstract

Additive manufacturing method stands out as one of the manufacturing methods that has been used frequently in recent years. This technology is widely used in the manufacture of steel, titanium, cobalt, copper and nickel alloys, as well as Al-Si alloys. Among the Al-Si alloys, the Al-Si10Mg alloy stands out with its high mechanical and corrosion resistance properties. Nowadays, AlSi10Mg alloys are widely used in the automotive and aerospace industries. In order to improve the usage performance of these alloys, some grain refinement methods have come to the fore. Among these methods, friction stir processing derived from friction stir welding, grain refinement and extreme plastic deformation method take attention. In this study, it is aimed to determine the effects of friction stir process (FSP) on microstructure, hardness and wear properties of AlSi10Mg alloy produced by additive manufacturing method. For this goal, FSP was performed on the surface of AlSi10Mg alloys with 1200 rpm tool rotation speed, 40 mm/min tool advance speed, 6000 N tool pressure force and 2° tool angle. Structural analysis, wear properties and hardness of the samples were determined by scanning electron microscope, optical microscope, micro-hardness tester and ball-disc type wear tester under ambient air and vacuum environment, respectively. After FSP, the stratified microstructure arising from additive manufacturing has been eliminated and a smoother structure has been obtained. While the hardness of the untreated sample was 104.5 HV_{0,01}, this value was determined as 98.6 HV_{0,01} in the treated sample. Considering the effects of FSP on the wear performance of the alloy, there was an improvement of approximately 40% in the ambient air. In the vacuum environment, this value was around 10%. It was seen that the dominant wear mechanism was abrasive wear in the atmosphere environment, while mass transfer was the factor in the vacuum environment.

Keywords: Additive Manufacturing, Friction Stir Process, Wear, Hardness, Vacuum

1. Giriş

Eklemeli imalat yöntemi son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlayan imalat yöntemlerinden biri olarak göze çarpmaktadır. Eklemeli imalat yönteminde, tozları eriterek veya sinterleyerek bir bileşen üretmek için güç kaynağı kullanılmaktadır [1-3]. Bu üretim teknolojisi, hammaddeleri verimli bir şekilde kullanarak tatmin edici geometrik doğruluk sağlar ve bu sayede minimum atık oluşur [4,5]. Bununla birlikte, bu teknoloji ile üretilen parçalar nispeten pürüzsüz bir yüzeye sahip olduklarından, önemli bir son işleme ihtiyaç duyulmadan doğrudan kullanılabilirler [6]. Son yıllarda, çalışmalar özellikle SLM işleme parametrelerinin ve üretilen mikro yapıların optimizasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır [7,8]. Bu üretim teknolojisi çelik, titanyum, kobalt, bakır ve nikel alaşımlarının yanı sıra Al- Si alaşımlarının üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [9-22]. Söz konusu Al-Si alaşımlarının arasında son yıllarda Al-Si10Mg alaşımı yüksek mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı özellikleri ile ön plana çıkmakta ve eklemeli imalat yöntemiyle de oldukça pürüzsüz bir yüzeye ve herhangi bir yapısal hataya sebebiyet vermeden üretilebilmektedir. Ayrıca AlSi10Mg alaşımları sıcak çatlamaya karşı yüksek dirençleri nedeniyle kaynaklanabilme özelliğine de sahiptir. Bununla birlikte, bu yöntemde lazer ışını yüksek güç ve tarama hızına sahiptir. Söz konusu bu durum, hızlı katılaştırma işlemi sırasında büyük bir sıcaklık gradyanı oluşturmasından dolayı üretilen alaşımın yapısında gözenekler, inklüzyonlar ve çatlaklar gibi katılma kusurları oluşabilmektedir. Bu nedenle alaşımların oda sıcaklığında düşük süneklik, yorulma ve aşınma ömrü gibi olumsuzluklar sergilemektedirler [23]. Katılma kusurlarını ortadan kaldırmak ve eklemeli imalatla üretilen AlSi10Mg alaşımının sünekliğini arttırmak için ısıl işlem ve sıcak izostatik presleme (HIP) teknolojileri kullanılmaktadır. Günümüzde eklemeli imalat yöntemiyle yaklaşık 0,02 m³ hacimli numuneler üretilebilmektedir. Söz konusu alaşımın endüstriyel uygulamasını yaygınlaştırmak amacıyla daha büyük parçalar üretilebilmek için farklı birleştirme teknikleri mevcuttur. Günümüzde, çok sayıda malzeme türünün birleştirilmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri Sürtünme Karıştırma Kaynağıdır. Son on yılda, sürtünme karıştırma kaynağı özellikle Al alaşımlarının birleştirilmesi konusunda mükemmel bir kaynak kalitesi sunmuştur. Ayrıca söz konusu Al alaşımlarının uygulama alanlarında kullanım performansını geliştirmek adına bazı tane inceltme amaçlı yöntemler ön plana çıkmıştır. Bu yöntemler arasında, son zamanlarda sürtünme karıştırma kaynağından türetilen sürtünme karıştırma işlemi, tane inceltme ve aşırı plastik deformasyon yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, iş parçasına istenen rota boyunca hareket eden bir pim ve omuzlu dönen bir karıştırma aleti yerleştirilmekte olup, işlenmiş bölge, sürtünme ısı ve mekanik karıştırmanın birleşik etkisi altında aşırı plastik deformasyona uğrar ve bu da mikroyapısal arıtma, homojenleştirme ve yoğunlaşmanın aynı anda elde edilmesine yol açar [24]. Chen ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Mg-8Li-3Al-2Sn alaşımına uygulanan sürtünme karıştırma işlemi neticesinde malzemenin çekme ve akma dayanımının önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir [25]. İlgili çalışmada, oluşan dubleks fazlı matriste α -Mg fazının en sert faz olarak deformasyon kuvvetini taşımakta olduğu, sürtünme karıştırma işlemi sayesinde yapıda bulunan α -Mg tanelerinin boyutunun azaltıldığı bunun da mukavemet artışında payı olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme karıştırma işleminin Mg-Al-Zn alaşımının mekanik özelliklerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, yapıdaki Mg17Al12 intermetalik fazın çözünerek ultra

ince alt tanelerin oluştuğu ve tane boyutu incelmesinin işlem sonrasındaki mukavemet ve süneklik özelliklerinin iyileştirilmesinde rol oynadığı vurgulanmıştır. İlgili çalışmada, söz konusu alaşımın akma dayanımı %42, çekme dayanımı %80, süneklik ise %350 oranında artırılmıştır. Mukavemet değerlerindeki bu artışın, dinamik yeniden kristalizasyonun neden olduğu tane inceltmesi sayesinde artan tane sınırı sertleşmesi ile elde edildiği vurgulanmıştır [26]. Literatürdeki verilen söz konusu çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, sürtünme karıştırma işlemi uygulanan malzemelerin sertlik, mekanik, sürtünme ve aşınma özellikleri işlemsiz malzemeye oranla iyileştirilmiştir. Bununla birlikte literatürde, bu çalışmada da ana malzeme olarak kullanılması planlanan SLM ile üretilmiş AlSi10Mg alaşımına sürtünme karıştırma işleminin uygulandığı ve alaşımın mikro yapı ve mekanik özelliklerine olacak muhtemel etkilerin belirlendiği çalışmalar sınırlı sayıda olsa da mevcuttur. Yang ve çalışma arkadaşlarının yapmış oldukları sürtünme karıştırma işleminin SLM-AlSi10Mg alaşımının yapısal ve mekanik özelliklerine etkileri konusundaki incelemelerinde, sürtünme karıştırma işleminin, söz konusu alaşım yüzeyinde oluşan gözenekleri ortadan kaldırdığı, daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi yapıyı homojen ve daha yoğun hale getirdiği tespit edilmiştir. Alaşımın yapısındaki Si parçacıkları ve dislokasyon yapısı, mukavemet değerlerini önemli ölçüde etkilediği vurgulanmıştır. Geleneksel ısıl işlem yöntemleriyle kıyaslandığında, söz konusu alaşıma uygulanan sürtünme karıştırma işlemi mukavemet değerlerini artırırken, iyi süneklik özelliği elde etme konusunda da başarılı bir işlem olarak belirlenmiştir [27]. Söz konusu tespitler literatürde yapılmış olup, sürtünme karıştırma işleminin eklemeli imalatla üretilen AlSi10Mg alaşımlarının sürtünme ve aşınma performanslarına etkisi ile ilgili sistematik çalışma eksikliği göze çarpmaktadır. Bu bilgiler ışığında söz konusu eklemeli imalat teknolojisinin, uzay havacılığında kullanılan alaşımların üretiminde kullanılmasının yakın gelecekteki popüler araştırma konularından biri olacağı öngörülmektedir. Sürtünme karıştırma işleminin de AlSi10Mg alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliğini geliştirdiği vurgusu da yapılmışken, bu işlem uygulanmış alaşımların vakum ortamında (havadan arındırılmış) aşınma performansının incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, çalışmada sürtünme karıştırma işleminin eklemeli imalat yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının mikro yapı, sertlik ve hem atmosfer hem de vakum ortamında aşınma özellikleri incelenerek elde edilen bulgular literatüre kazandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme Üretimi

Bu çalışmada AlSi10Mg alaşımı eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiştir. Numunelerin üretiminde kullanılan toz parçacığının boyutu yaklaşık 5 ila 30 μ m aralığındadır. Bu çalışmada kullanılan tozun toz karakterizasyonu ASTM F3049-14'e uygun olarak tedarik edilerek üretilmiştir. Parçalar 30 μ m katman kalınlığında ve 150*30*4 mm³ boyutunda EOS/M 290 marka/model cihazında üretilmiştir. Numunelerin üretimi için kullanılan cihaz Şekil 1'de gösterilmiştir. Numunelerin eklemeli imalat yöntemi ile üretiminde kullanılan parametreler ise Tablo 1'de verilmiştir. Numune üretim işlemi sırasında, oksijen içeriğini %0,1'den daha az tutmak ve erime işlemi sırasında oksit oluşumunu önlemek için işlemler argon gazı ortamında gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, üretilen numuneler 2 saat süre ile 300 °C'de gerilme giderme işlemine tabi tutulmuştur. Eklemeli imalatla üretilen AlSi10Mg alaşımları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. EOS M 290 marka eklemeli imalat cihazı

Tablo 1. AlSi10Mg numunelerinin eklemeli imalat işlem parametreleri

Lazer Gücü (W)	Tarama Hızı (mm/s)	Katman Yönlendirme Açısı (°)	Katman Kalınlığı (µm)
370	1300	67	30



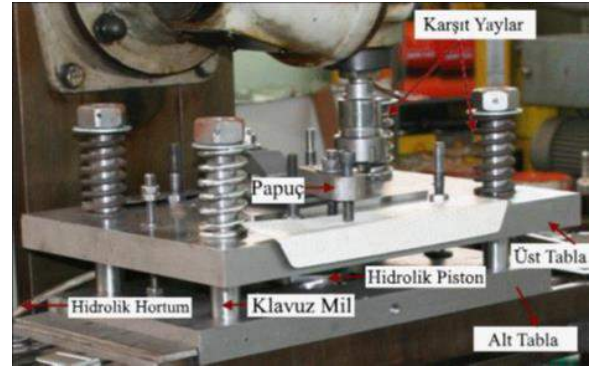
Şekil 2. Eklemeli imalatla üretilen AlSi10Mg alaşımları

2.2. Sürtünme Karıştırma İşlemi

Bu çalışmada Sürtünme Karıştırma İşlemi (SKİ) için uygun şekilde geliştirilen Şekil 3'te görülen universal bir freze tezgâhı kullanılmıştır. Tezgâh tablası üzerine takımın uygulayacağı baskı kuvvetinin kontrol edilebilmesi amacıyla hidrolik yüklemeye düzeneği yerleştirilmiş durumdadır. SKİ uygulanacak olan AlSi10Mg plakalar Şekil 4'te verilen hidrolik düzeneğin üst tablasında bulunan pabuçlar sayesinde sabitlenmektedir.



Şekil 3. SKİ düzeneğinin görünümü



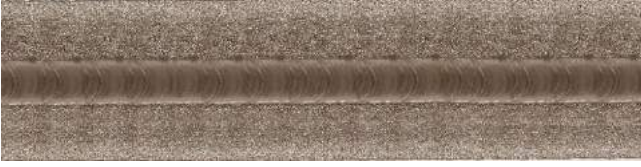
Şekil 4. Hidrolik yüklemeye düzeneğinin görünümü

Tasarlanan bu hidrolik yüklemeye düzeneğinde sabit olan alt tabla üzerine yerleştirilen hidrolik piston ve 4 adet kılavuz mil bulunmaktadır. Kılavuz miller üzerine yataklanmış hareketli üst tabla takım eksenini doğrultusunda hidrolik piston sayesinde hareket ettirilebilmektedir. Takım baskı kuvvetinin tablanın her bölgesinde dengeli şekilde tutulabilmesi için ise hareketli tabla üzerine 4 adet karşıt yay yerleştirilmiştir. SKİ işlemi için yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı tungsten karbür (WC) takım kullanılmıştır. SKİ'nde kullanılan parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Sürtünme karıştırma işlem parametreleri

Takım Dönme Hızı (dev/dk)	Takım İlerleme Hızı (mm/dk)	Takım Baskı Kuvveti (N)	Takım Açısı (°)
1200	40	6000	2

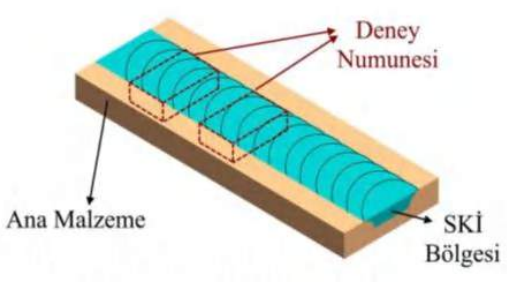
SKİ uygulanmış AlSi10Mg alaşımının görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, yukarıda belirtilen parametrelerle uygulanan SKİ neticesinde, alaşım yüzeyinde homojen ve başarılı bir karışma yüzeyi elde edilmiştir. Bu görsel üzerinden, SKİ'nin başarılı bir şekilde uygulandığı söylenebilmektedir.



Şekil 5. SKİ uygulanmış AlSi10Mg alaşımı

2.3. Numunelerin Hazırlanması

SKİ gerçekleştirildikten sonra numunelerin işlem bölgelerinden Şekil 6'da örnek olarak gösterildiği gibi içyapı, sertlik ve aşınma özelliklerinin incelenmesi amacıyla numuneler çıkarılmıştır.



Şekil 6. İşlem uygulanmış AlSi10Mg plakadan çıkarılan deney numunelerinin konumları

2.3. Yapısal, Sertlik ve Tribolojik Analizler

İşlemsiz ve SKİ numunelerinin faz analizleri Panalytical Empyrean X-ışını kırınım ölçer (XRD) ve EDAX enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD ölçümlerinde $\lambda = 1,54059 \text{ \AA}$ dalga boyuna sahip Cu-K α ışınımı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar The International Centre for Diffraction Data (ICDD) standart kartları ile karşılaştırılarak oluşan fazların kimyasal kompozisyonları tespit edilmiştir.

Numunelerin içyapısının analizi için, manyetik karıştırıcı yardımıyla hazırlanan Keller ayracı (2,5 mL HNO₃, 1,5 mL HCl, 1 mL HF ve 35 mL H₂O) ile dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Metalografik olarak hazırlanan numunelerin yapısal analizleri ZEISS marka optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikro sertlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla Struers Duramin 3 marka mikro sertlik cihazı kullanılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri 10 gr yük altında 10 s yükleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden birbirini etkilemeyecek mesafede en az beş ölçüm yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Numunelerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler, DUCOM marka bilgisayar kontrollü aşınma cihazında 1 N'luk normal yük altında ve 10 mm iz çapında, atmosfer ortamı ve vakum şartlarında bilye disk aşınma test yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında karşı yüzey olarak 6 mm çaplı Al₂O₃ seramik bilye kullanılmıştır. Yapılan testler sonunda her bir numunede meydana gelen aşınma miktarının hesaplanmasında Archard aşınma eşitliği olarak bilinen bağıntıdan yararlanılmıştır.

$$k = Q / W L$$

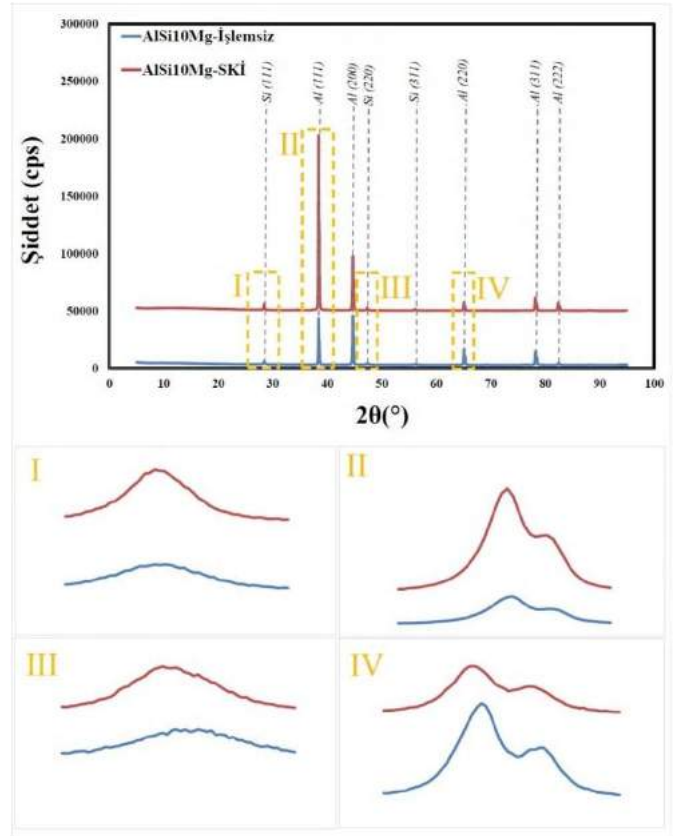
Burada Q kaybedilen toplam malzeme hacmini (mm³), L toplam kayma mesafesini (m) ve W uygulanan normal yükü (N) göstermektedir. k değeri ise aşınma oranını (mm³/Nm) ifade etmektedir.

İşlemsiz ve SKİ uygulanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş sürtünme-aşınma deneyleri neticesinde elde edilen numunelerin aşınma izleri Nanofocus marka temassız optik profilometre yardımıyla incelenmiş, SKİ'nin AlSi10Mg malzemelerinin aşınma özelliklerine etkileri sistematik olarak belirlenmiştir. Oluşan aşınma mekanizmaları ise aşınma yüzeylerinin SEM ve EDS incelenmesiyle karakterize edilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

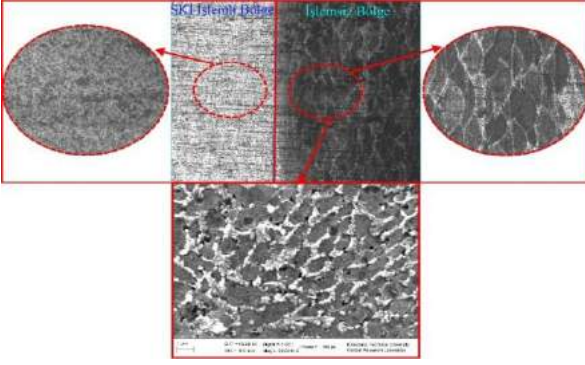
İşlemsiz ve SKİ uygulanan numunelerin XRD grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi Al ve Si elementlerine ait pikler XRD sonuçlarından elde edilmiştir. 4 farklı pike ait detaylar ayrıca verilmiştir. Detaylarda verilen piklere bakıldığında, SKİ işlemleri malzemenin elde edilen sonuçlarda az da olsa piklerde bir miktarda kayma oluşmuştur. Bu durum ise SKİ işleminden kaynaklı, malzeme içerisinde oluşan çeki iç gerilmelerinin varlığını sayısal olarak ortaya konulması amacıyla XRD verilerinin X-Pert High Score yazılımı kullanılarak, Williamson Hall yaklaşımı ile değerlendirilmesi neticesinde yukarıdaki yorumu doğrular nitelikte değerler elde edilmiştir. İşlemsiz AlSi10Mg alaşımında, gerilme giderme işlemi uygulanmasına rağmen, eklemeli imalat üretiminden kaynak 9,6 ± 3 MPa değerinde iç gerilme tespit edilmiştir. Bununla birlikte, SKİ'nden sonra AlSi10Mg alaşımının iç gerilme değeri 49,6 ± 10

MPa olmuştur. Yukarıda belirtilen yaklaşımla elde edilen iç gerilme değerleri, literatürde benzer çalışmalarla uyumlu olmaktadır. Maamoun ve çalışma arkadaşlarının gerçekleştirdikleri bir çalışmada, AlSi10Mg alaşımına SKİ uygulandıktan sonra iç gerilmelerinde artış meydana geldiği görülmüştür [28].



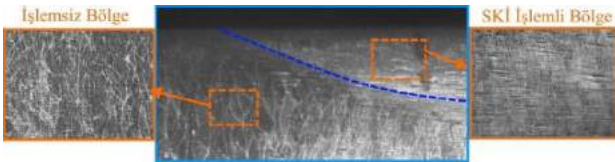
Şekil 7. Numunelerin XRD analizleri

Şekil 8’de işlemsiz ve SKİ uygulandıktan sonra numunelerin yüzey SEM ve optik mikroskop görüntülerini göstermektedir. İşlemsiz bölgede katmanlı üretim izleri net bir şekilde hem optik hem de SEM görüntülerinden görülmektedir. SKİ sonrası katmanlı imalat izleri tamamen ortadan kalkmış ve düz bir yapı elde edilmiştir. Bu durum yapının daha düzgün olmasını sağlamak ile birlikte, aşınma deneylerinde oluşacak olan sürtünme katsayısı değerlerini ciddi şekilde etkileyecektir. Dağlama sonrası elde edilen SEM görüntüsünden de anlaşıldığı gibi, dağlama esnasında katmanlar arasında yapılar bozulmuştur. SKİ işlemi sonrası bu dezavantajından ortadan kalktığı görülmektedir.



Şekil 8. Numunelerin yüzey görüntüleri

Şekil 9’da SKİ uygulanan numunelere ait kesitteki yapı gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, işlemlenmiş bölgede eklemeli imalat katmanları malzemenin yapısında net bir şekilde görülmektedir. Takımın dönme ve malzeme yüzeyinde hareketi ile birlikte takımın alt kısmında kalan bölgelerde içyapı değişmiştir. Takımın alanı dışında kalan bölgelerde eklemeli imalat katmanları görülmektedir.

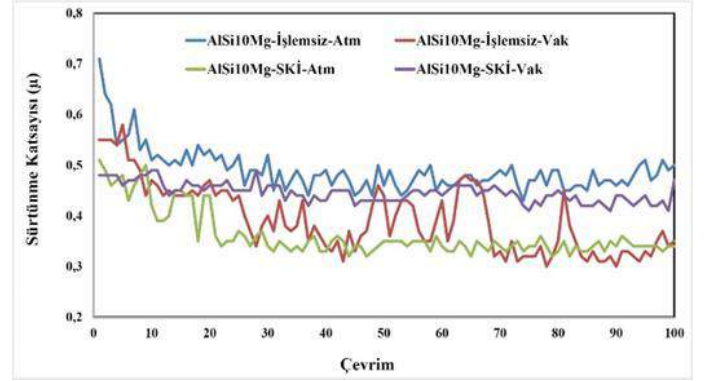


Şekil 9. İşlemsiz ve SKİ bölgelerinin kesin görünümü

Gerçekleştirilen mikro sertlik testlerinde, işlemsiz malzemede 104,5 HV_{0,01} olarak ölçülen sertlik değerinin, işlem uygulanan numunede 98,6 HV_{0,01} olduğu tespit edilmiştir. SKİ sonrası oluşan farkın sebebi ise, aşırı plastik deformasyon işlemi esnasında malzemenin ısınıp tekrar soğuması sonucunda içyapıda oluşan değişikliklerden kaynaklanmaktadır. SKİ’den sonra alaşımın sertlik değerinde görülen azalma literatürdeki çalışmalarla uyumludur [28, 29]. İlgili çalışmalarda, sertlikte söz konusu bu düşüşün sebebi, SKİ sırasında AlSi10Mg eklemeli imalat numuneleri için karakteristik olan çok ince Si faz ağının çözülmesi olarak vurgulanmıştır [28]. İlk Si ağının çözülmesinin ardından yapıdaki Si çöktürmelerinin büyümesi, SKİ’den sonra sertlikteki düşüşe neden olmaktadır.

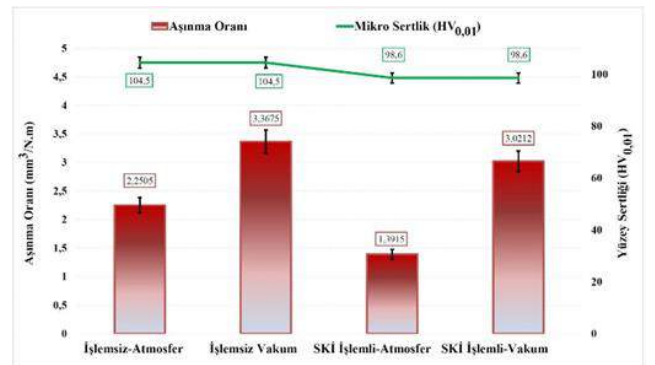
Yapılan aşınma deneyleri boyunca kaydedilen sürtünme katsayısı değerleri Şekil 10’da verilmiştir. Buna göre, yükten bağımsız olarak atmosfer ortamında işlemsiz numune SKİ uygulanmış numuneye nazaran daha yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Bunun sebebi ise, SKİ sonrası malzeme içyapısında oluşan karışma sonucunda, eklemeli imalat yönteminde gelen karakteristik katmanlı yapının kaybolması ile ilişkilidir. Vakum ortamında ise SKİ uygulanmış numune işlemsiz numuneye nazaran daha yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Bu durum ise,

yapılan işlem sonrası meydana gelen sertlik değerindeki düşüş ile açıklanabilmektedir. Atmosfer ortamında Al elementi, oksijen ile reaksiyona geçip seramik Al₂O₃ bileşeninin oluşması ile birlikte daha sert bir yapı üzerinde aşınma oluşmaktadır. Fakat vakum ortamında oksijenin bulunmadığı için herhangi bir reaksiyon söz konusu değildir. SKİ uygulanmış numunelerin sertlik değerlerinin düşük olmasından dolayı aşınma yolu boyunca daha çok sıvanmaların olduğu, bunun neticesinde ise işlemsiz numuneye nazaran daha yüksek sürtünme katsayısı meydana geldiği görülmüştür. Oluşan kütle transferi esnasında malzeme ile karşı yüzey arasında mikro kaynakların oluşması ve kütle transferinin gerçekleşme sürtünme katsayısını etkilemektedir.



Şekil 10. İşlemsiz ve SKİ uygulanmış numunelerin 2 farklı ortamdaki sürtünme katsayısı değerleri

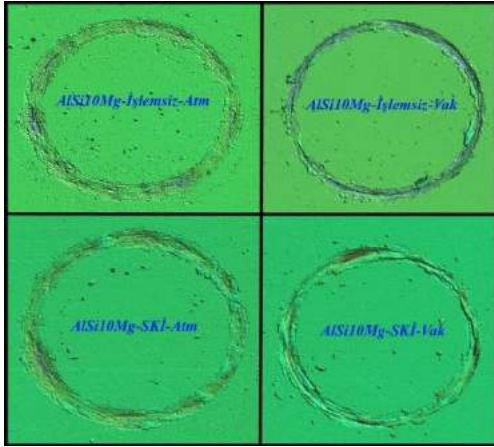
1 N normal yük kullanılarak gerçekleştirilen aşınma deneyleri neticesinde hesaplanan aşınma oranları numunelerin sertlik değerleri ile birlikte Şekil 11’de gösterilmiştir. Buna göre yükten bağımsız olarak en büyük aşınma oranları hem atmosfer hem de vakum ortamında işlemsiz numunelere ait olduğu belirlenmiştir. 1 N yük altında en iyi aşınma performansını, SKİ uygulanmış numunenin atmosfer ortamından elde edildiği görülmektedir. Aşınma oranlarının vakum ortamında atmosfere nazaran arttığı görülmektedir. Bu durum ise vakum ortamında oksijenden arındırılmış ortam sebebiyle, Al₂O₃’ün oluşmaması ile açıklanabilmektedir. Atmosfer ortamında gerçekleştirilen deneylerde, numune yüzeyi sürekli oksijen ile temasta olduğu için, doğal olarak Al alaşımlarının yüzeyinde bulunan oksit tabakası yenilenecek şekilde aşınma oranını ciddi anlamda etkilemektedir.



Şekil 11. Numunelerin sertlik ve her iki ortamdaki aşınma oranları

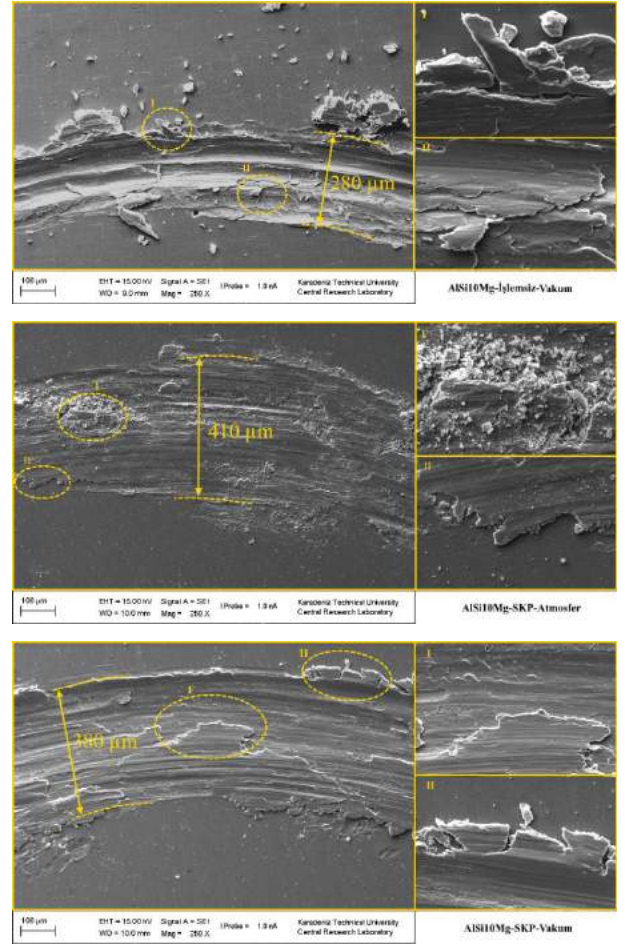
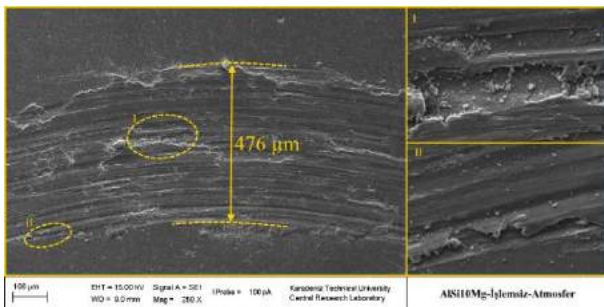
Aşınma deneyleri sonrası numuneler yüzeyinde meydana gelen aşınma hacminin belirlenmesi için optik profilometre analizleri gerçekleştirilmiş olup, bu analizden elde edilen görüntüler Şekil 12’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, atmosfer ortamında yapılan deney numunelerinin aşınma

izlerinde parçacıklar görülmektedir. Bu parçacıklar Al_2O_3 parçacıkları olarak tanımlanabilir. Al elementinin oksitlenmesi ile birlikte oluşan Al_2O_3 filmi gevrek bir yapıda olduğu için, parçacıklar halinde kırılarak yüzeyden ayrılmıştır. Fakat vakum ortamında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen görüntüler incelendiğinde, büyük oranda kütle transferinin gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca vakum ortamında oluşan aşınma izlerinin daha derin olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 12. Numunelerde oluşan aşınma izlerinin optik profilometre görüntüleri

Aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma mekanizmalarının incelenmesi amacıyla hem işlemsiz hem de SKİ uygulanmış numunelerde oluşan aşınma izleri SEM ve EDS analizleri ile incelenmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri Şekil 13'te verilmiştir. SEM görüntülerinden de görüldüğü gibi, oluşan aşınma iz genişlikleri işlemsiz-atm, işlemsiz-vak, SKİ işlemlenmiş-atm ve SKİ işlemlenmiş-vak numuneleri için sırasıyla 476, 280, 410 ve 380 μm 'dir. Aşınma iz genişliğinin atmosferde yapılan deneylerde vakum ortamında yapılan deneylere nazaran daha geniş olduğu görülmektedir. Bu durum, atmosferde Al parçacıklarının oksijen ile reaksiyona geçip Al_2O_3 oluşumundan sonra, aşınma parçacıklarının karşı yüzey ile numune arasına sıkışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Detaylı SEM görüntüleri incelendiğinde atmosfer ortamında yapılan gerçekleştirilen deneylerde, numuneler üzerinde abrazyon aşınma izleri görülmektedir. Ayrıca ince aşınma parçacıklarının da yüzeyde var olması bu durumu kanıtlamaktadır. Partiküllerin karşı yüzey ile numune yüzeyi arasına sıkışması neticesinde abrazyon aşınma izleri numune yüzeyinde oluşmaktadır. Vakum ortamında gerçekleştirilen aşınma deneylerinde ise aşınma izlerinin daha derin olduğu ve kütle transferi mekanizması net bir şekilde görülmektedir.



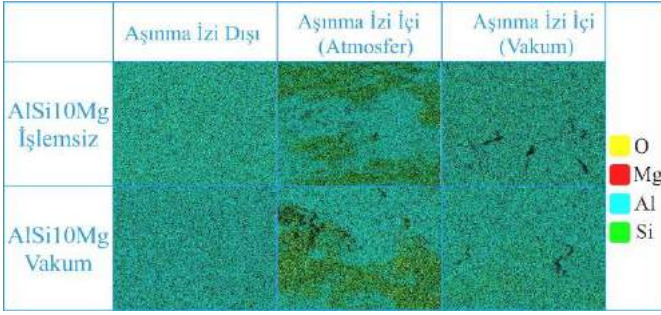
Şekil 13. Aşınma izlerine ait SEM görüntüleri

EDS analizleri, hem aşınma izi içerisinde hem de aşınma izi dışından Map-EDS olarak gerçekleştirilmiştir. EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca Map-EDS analizinden elde edilen element dağılım görüntüleri Şekil 14'te verilmiştir. EDS sonuçlarına bakıldığında, SKİ sonrası malzemede oksijen miktarında çok az bir artış görülmektedir. Bu durum SKİ işlemi sırasında malzemenin ısınması ile birlikte malzeme yapısına oksijenin yerleşmesini göstermektedir. Atmosfer ortamında yapılan aşınma deneyi sonrası, aşınma izi içerisinde yapılan EDS analizlerinde, oksijen miktarının ciddi bir artış gösterdiği görülmektedir. İşlemsiz numunede bu artış %3,34'ten %17,28'e ve SKİ uygulanmış numunede ise bu artışın %3,84'ten %18,90'a kadar olduğu görülmektedir. Bu durum ise malzeme yapısında var olan elementleri oksijen ile reaksiyona girmesi neticesinde oluşan oksit yapılarının var olduğunu göstermektedir. Vakum ortamında yapılan aşınma deneyleri sonrası, hem işlemsiz hem de SKİ uygulanmış numunede aşınma izi içerisinde oksijen miktarında bir düşüş yaşandığı görülmektedir. İşlemsiz malzemelerde oksijen miktarı %3,34'ten %1,91'e ve SKİ numunesinde %3,84'ten %2,73'e kadar düştüğü görülmektedir. Al alaşımlarında, bilindiği gibi malzeme yüzeyinde doğal oksit tabakası oluşmaktadır. Vakum ortamında yapılan aşınma deneyi sonrası bu tabakanın kalkması ile birlikte oksijen miktarında da düşüşlerin meydana gelmesi beklenen bir durumdur.

Tablo 3. EDS analiz sonuçları

Element	İşlemsiz				SKP İşlemli			
	Atmosfer		Vakum		Atmosfer		Vakum	
	İz İçi	İz Dışı	İz İçi	İz Dışı	İz İçi	İz Dışı	İz İçi	İz Dışı
Al	73,92	85,6	87,6	85,6	72,1	84,1	86,1	84,1
Si	7,70	9,92	9,23	9,92	7,79	1,83	9,96	1,83
Mg	1,10	1,10	1,18	1,10	1,12	1,15	1,17	1,15
O	17,28	3,34	1,91	3,34	18,9	3,84	2,73	3,84

Map-EDS analiz görüntülerine bakıldığında, malzeme yüzeyi ve aşınma izi içerisinde oluşan farklılıklar net bir şekilde görülebilmektedir. Malzeme yüzeyi ile atmosfer ortamında yapılan aşınma izi içerisinde alınan görüntüler kıyaslandığında, oksijen miktarının arttığı net bir şekilde görülmektedir. İşlemsiz malzemede sarı renk ile gösterilmiş olan oksijenin yüzeye dağıldığı görülmekte, fakat aşınma izi içerisinde alınan görüntülere bakıldığında sarı renk ile gösterilen oksijen elementinin farklı bölgelere biriktiği net bir şekilde görülmektedir. Bu durum, vakum ortamında yapılan aşınma izi içerisinde alınan Map-EDS analizlerinde görülmemektedir.



Şekil 14. Map-EDS analizi

4. Sonuç

Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ile üretilen AlSi10Mg alaşımının yüzeyine 1200 dev/dk takım dönme hızında, 6000 N baskı kuvveti ve 2° takım açısı ile SKİ uygulanmıştır. Uygulanan SKİ'nin eklemeli imalatla üretilen AlSi10Mg alaşımlarının yapısal, sertlik ve aşınma özelliklerine etkileri belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- SKİ neticesinde eklemeli imalat ile üretilen AlSi10Mg alaşımının karakteristik katmanlı yapısı karıştırma sonucunda düz bir yapı haline almıştır.

- XRD analizinde, yapıda Al ve Si piklerinin baskın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte SKİ neticesinde XRD piklerinde bir miktar sağa kayma söz konusudur. Belirlenen bu pik kayması, numunede işlem sonrasında oluşan iç gerilmelere işaret eder. İşlemsiz AlSi10Mg alaşımında, gerilme giderme işlemi uygulanmasına rağmen, eklemeli imalat üretiminden kaynaklı $9,6 \pm 3$ MPa değerinde iç gerilme tespit edilmiştir. Bununla birlikte, SKİ'nden sonra AlSi10Mg alaşımının iç gerilme değeri $49,6 \pm 10$ MPa olmuştur.

- İşlemsiz AlSi10Mg alaşımında mikrosertlik değeri 104,5 HV_{0,01} olarak elde edilirken, işlem uygulanan numunede mikrosertlik değeri 98,6 HV_{0,01} olarak belirlenmiştir.

- SKİ sayesinde AlSi10Mg alaşımının aşınma performansı hem atmosfer ortamında, hem de vakum ortamında dikkate değer şekilde iyileştirilmiştir. Bununla birlikte, atmosfer ortamında

numunelerin aşınma performansları, vakum ortamına nazaran daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

- Atmosfer ortamında baskın aşınma mekanizması abrazyon aşınma olurken, vakum ortamında kütle transfer mekanizması ön plana çıkmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FHD-2020-8827

Kaynakça

- [1] Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B., Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer, USA, 2009.
- [2] Wong, K.V., Hernandez, A., A review of additive manufacturing, Int. Sch. Res. Netw. 2012: 1–12, (2012).
- [3] Frazier, W.E., Metal additive manufacturing: a review. J. Mater. Eng. Perform. 23: 1917–1928, (2014).
- [4] ASTM, Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies ASTM International, West Conshohocken, 2012.
- [5] Levy, G.N., Schindel, R., Kruth, J.P., Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives. CIRP Ann. Manuf. Technol. 52: 589–609, (2003).
- [6] Sallica-Leva, E., Jardini, A.L., Fogagnolo, J.B., Microstructure and mechanical behavior of porous Ti–6Al–4V parts obtained by selective laser melting. J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 26: 98–108, (2013).
- [7] Gu, D.D., Meiners, W., Wissenbach, K., Poprawe, R., Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. Int. Mater. Rev. 57: 125–131, (2012).
- [8] Murr, L.E., Quinones, S.A., Gaytan, S.M., Lopez, M.I., Rodela, A., Martinez, E.Y., Hernandez, D.H., Martinez, E., Medina, F., Wicker, R.B., Microstructure and mechanical behavior of Ti–6Al–4V produced by rapid-layer manufacturing, for biomedical applications. J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 2: 20–32, (2009).
- [9] Martin, J.H., Yahata, B.D., Hundley, J.M., Mayer, J.A., Schaedler, T.A., Pollock, T.M., 3D printing of high-strength aluminium alloys, Nature, 549: 365–369, (2017).
- [10] Le, K.Q., Tang, C., Wong, C.H., A Study on the Influence of Scanning Strategies on the Levelness of the Melt Track in Selective Laser Melting Process of Stainless Steel Powder, JOM. 70: 2082–2087, (2018).
- [11] AlMangour, B., Grzesiak, D., Yang, J.M., Rapid fabrication of bulk-form TiB₂/316L stainless steel nanocomposites with novel reinforcement architecture and improved performance by selective laser melting J. Alloys Compd. 680: 480–493, (2016).
- [12] Chou, R., Milligan, J., Paliwal, M., Brochu, M., Additive Manufacturing of Al-12Si Alloy Via Pulsed Selective Laser Melting, JOM. 67: 590–596, (2015).
- [13] Attar, H., Haghghi, S.E., Kent, D., Wu, X.H., Dargusch, M.S., Comparative study of commercially pure titanium produced by laser engineered net shaping, selective laser melting and casting processes, Mater. Sci. Eng. A 705: 385–393, (2017).

- [14] Vastola, G., Zhang, G., Pei, Q.X., Zhang, Y.W., Modeling the microstructure evolution during additive manufacturing of ti6al4v: a comparison between electron beam melting and selective laser melting. *JOM*, 68: 1370-1375, (2016).
- [15] Li, J.Y., Chen, C.J., Liao, J.K., Liu, L., Ye, X.H., Lin, S.Y., Ye, J. T., *J. Prosthet. Dent.* 118: 69, (2017).
- [16] Song, C.H., Zhang, M.K., Yang, Y.Q., Wang, D., Yu, J.K., Morphology and properties of CoCrMo parts fabricated by selective laser melting, *Mater. Sci. Eng. A* 713: 206-213, (2018).
- [17] Ventura, A.P., Wade, C.A., Pawlikowski, G., Bayes, M., Watanabe, M., Misiolok, W.Z., The Effect of Aging on the Microstructure of Selective Laser Melted Cu-Ni-Si, *Metall. Mater. Trans. A* 48: 6070-6082, (2017).
- [18] Ikeshoji, T.T., Nakamura, K., Yonehara, M., Imai, K., Kyogoku, H., Selective Laser Melting of Pure Copper *JOM*. 70: 396-400, (2018).
- [19] Covarrubias, E.E., Eshraghi, M., Effect of Build Angle on Surface Properties of Nickel Superalloys Processed by Selective Laser Melting, *JOM*. 70: 336-342, (2018).
- [20] Saedi, S., Moghaddam, N.S., Amerinatanzi, A., Elahinia, M., Karaca, H.E., On the effects of selective laser melting process parameters on microstructure and thermomechanical response of Ni-rich NiTi, *Acta Mater.* 144: 552-560, (2018).
- [21] Asgari, H., Baxter, C., Hosseinkhani, K., Mohammadi, M., On microstructure and mechanical properties of additively manufactured AlSi10Mg_200C using recycled powder, *Mater. Sci. Eng. A* 707: 148-158, (2017).
- [22] Kempen, K., Thijs, L., Humbeeck, J.V., Kruth, J.P., Mechanical Properties of AlSi10Mg Produced by Selective Laser Melting, *Phys. Proc.* 39: 439-446, (2012).
- [23] Tang, M., Pistorius, P.C., Oxides, porosity and fatigue performance of AlSi10Mg parts produced by selective laser melting, *Int. J. Fatigue*, 94: 192-201, (2017).
- [24] Yang, K., Li, W.Y., Huang, C.J., Yang, X.W., Xu, Y.X., *J. Mater. Sci. Technol.* 2167: 34, (2018).
- [25] Chen, X., Zhang, Y., Cong, M., Effect of friction stir processing on microstructure and tensile properties of as-cast Mg-8Li-3Al-2Sn (wt.%) alloy, *Vacuum*. 175: 109292, (2020).
- [26] Sharahi, H.J., Pouranvari, M., Movahedi, M., Strengthening and ductilization mechanisms of friction stir processed cast Mg-Al-Zn alloy, *Mat. Sci. and Eng: A*, 781: 139429, (2020).
- [27] Yang, T., Wang, K., Wang, W., Peng, P., Huang, L., Qiao, K., Jin, Y., Effect of Friction Stir Processing on Microstructure and Mechanical Properties of AlSi10Mg Aluminum Alloy Produced by Selective Laser Melting, *JOM*, 71: 1737-1747, (2019).
- [28] Maamoun, A. H., Veldhuis, S.C., Elbestawi, M., Friction stir processing of AlSi10Mg parts produced by selective laser melting, *J. Mat. Process. Tech.* 263: 308-320, (2019).
- [29] Moeini, A. H G., Sajadifar, S. V., Engler, T., Heider, B., Neindorf, T., Oechsner, M., Böhm, S., Effect of Friction Stir Processing on Microstructural, Mechanical, and Corrosion Properties of Al-Si12 Additive Manufactured Components, *Metals*, 10: 85, (2020).



Investigation of the Notable Maneuvers of a Low-speed Air Platform to Get Away from Surface-to-Air Threats

Bülent Özkan^{1*}

^{1*} Gazi University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3112-9723), bozkan@gazi.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006607)

ATIF/REFERENCE: Özkan, B. (2021). Investigation of the Notable Maneuvers of a Low-speed Air Platform to Get Away from Surface-to-Air Threats. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1167-1171.

Abstract

The most reasonable attitude in order for low-speed aerial platforms including helicopters and unmanned air vehicles which do not involve any counter measure system to survive is to get away with a convenient maneuver when they are subjected to man-portable surface-to-air rockets and missiles. The mentioned approach may become challenging for low-speed platforms. In this study, the effectiveness of notable escape maneuvers is investigated using relevant computer simulations for a low-speed aerial platform. This way, it is shown that the aerial platforms can escape from surface-to-air threats under the circumstance of lack of any counter measure opportunity.

Keywords: Low-speed Air Platform, Unmanned Air Vehicle, Surface-to-air Threat, Missile, Maneuver.

Yerden Gelen Tehditlerden Kaçmak Amacıyla Düşük Hızlı Bir Hava Platformunun Yapabileceği Başlıca Manevraların İncelenmesi

Öz

Yerden havaya doğru fırlatılan taşınabilir roket ve füzelerin tehdidi altındaki düşük hızlı ve karşı tedbir sistemi içermeyen helikopter ve insansız hava aracı gibi hava platformlarının bekasını sağlayabilmesi için yapması gereken en anlamlı hareket uygun bir manevrayla kaçmaktır. Bahsedilen yaklaşım, düşük hızlı platformların kapasitesini zorlayıcı bir özelliğe sahiptir. Bu çalışmada, düşük hızlı bir hava platformunun belirtilen kapsamda izleyebileceği belli başlı kaçma manevralarının etkinliği gerçekleştirilen bilgisayar benzetimleri yardımıyla incelenmektedir. Neticede, herhangi bir karşı tedbir olanağına sahip olmayan hava platformlarının yerden havaya fırlatılan mühimmattan kaçabileceği gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Düşük Hızlı Hava Platformu, İnsansız Hava Aracı, Yerden Havaya Fırlatılan Tehdit, Füze, Manevra.

* Corresponding Author: bozkan@gazi.edu.tr

1. Introduction

No matter for civilian or military purpose, low-speed air platforms including helicopters and unmanned air vehicles may sometimes be subjected to threats including the rockets or missiles which are fired from aerial or ground platforms. The man-portable surface-to-air munition constitutes a more dangerous class against low-speed air platforms than other kinds of rockets and missiles because of their high maneuvering capability and low detectability [1], [2]. For the platforms which do not contain any counter measure system, the most reasonable action is to attempt to get away from the threat by a convenient escape maneuver right after the detection of the threat. Although this approach seems inherent behaviour, it may be quite challenging for the platforms regarding their physical capacities [3].

In this study, notable escape maneuvers low-speed air platforms can perform are dealt with against man-portable surface-to-air missiles. The success of the proposed approach is evaluated by means of relevant computer simulations.

2. Threat Model

The dynamic behavior of a portable surface-to-air missile which is considered as a threat for the air platform can be defined using the following equations [4]:

$$\begin{aligned} \dot{u} - rv + qw &= (X + X_T)/m + g_x & (1) \\ \dot{v} + ru - pw &= (Y + Y_T)/m + g_y & (2) \\ \dot{w} - qu + pv &= (Z + Z_T)/m + g_z & (3) \\ \dot{p} &= L/I_{ma} & (4) \\ \dot{q} - pr &= (M + M_T)/I_{mt} & (5) \\ \dot{r} + pq &= (N + N_T)/I_{mt} & (6) \end{aligned}$$

For the longitudinal, lateral, and vertical components of the relevant vectors in the missile-fixed reference frame (F_b), the forthcoming definitions are introduced:

m : Mass of the missile

I_{ma} and I_{ml} : Longitudinal and lateral moment of inertia components of the missile

p , q , and r : Components of the angular velocity vector in the roll, pitch, and yaw directions

u , v , and w : Components of the linear velocity vector of the missile

X , Y , and Z : Components of the aerodynamic force acting on the mass center of the missile

L , M , and N : Components of the aerodynamic moment vector acting on the missile body vector in the roll, pitch, and yaw directions

X_T , Y_T , and Z_T : Components of the thrust vector acting on the mass center of the missile

L_T , M_T , and N_T : Components of the thrust misalignment moment vector acting on the missile body

g_x , g_y , and g_z : Components of the gravity vector acting on the mass center of the missile

Assuming that the angular motion of the missile in the roll plane is nullified by means of the roll autopilot prior to its motion in the pitch and yaw planes, i.e. $p \approx 0$, the equations of motion of the missile can be obtained for the phases after the burnout by

regarding equations (2), (3), (5), and (6) in the following manner [4]:

$$\begin{aligned} \dot{w} - qu &= (Z/m) + g_z & (7) \\ \dot{q} &= M/I_{mt} & (8) \\ \dot{v} + ru &= (Y/m) + g_y & (9) \\ \dot{r} &= N/I_{mt} & (10) \end{aligned}$$

In the present work, it is considered that the missile flies unguided from the firing to the end of the thrust. Afterwards, it passes the intermediate guidance phase in which the inertial guidance is applied till the detection of the aerial platform by its seeker. Finally, the terminal guidance phase begins once the target is detected. Here, it is assumed that the missile is guided by means of the proportional navigation guidance (PNG) law throughout the terminal guidance phase.

The relationships defining the guidance commands generated by the PNG law can be written as follows [5]:

$$\begin{aligned} a_p^c &= -N_p v_M \dot{\lambda}_p \cos(\lambda_y - \eta_m) & (11) \\ a_y^c &= N_y v_M [\dot{\lambda}_y \cos(\gamma_m) - \dot{\lambda}_p \sin(\gamma_m) \sin(\lambda_y - \eta_m)] & (12) \end{aligned}$$

where v_M indicates the magnitude of the linear velocity vector of the missile while γ_m and η_m denote the flight path angles which are the angles of the missile velocity vector with respect to the pitch and yaw planes, respectively. As letters p and y indicate the pitch and yaw planes in sequel, a_p^c and a_y^c correspond to the reference signals to the missile control system, i.e. missile autopilot, N_p and N_y denote the effective navigation ratios, and λ_p and λ_y represent the orientation angles of the line-of-sight (LOS) vector with respect to the pitch and yaw planes of the Earth-fixed reference frame (F_0) [5].

In order to realize the guidance commands, the missile control systems, i.e. the missile autopilots, are designed separately in the roll, pitch, and yaw planes. An autopilot basically consists of a controller, control actuation system (CAS), gyros, accelerometers, and plant. In this arrangement, the missile constitutes the plant. In the modeling, the gyros, accelerometers, and CAS are so selected that their operating frequencies are higher than the bandwidth of the autopilots in order for them not to affect the entire missile dynamics [4].

The roll autopilot is designed based on the proportional plus derivative (PD) control action in order to make the roll angle of the missile zero. As being responsible of the control of the missile right after the nullification of the roll angle, the pitch and yaw autopilots are constructed by regarding the proportional plus integral (PI) control action supplemented by the pitch/yaw feedback. The pitch and yaw autopilots consider the components of the linear acceleration vector of the missile in the pitch and yaw planes as control variables. Unlike a frozen-gain control system, the autopilot gains are continuously updated depending on the current values of the M_∞ , p , q , r , and dynamic pressure in order to guarantee the stability of the missile throughout the engagement [4].

The block diagram of the pitch autopilot which has the same structure as the yaw autopilot is shown in Figure 1. In Figure 1, a_{zd} , a_z , and e_a stand for the desired and actual values of the component of the linear acceleration vector of the missile in the pitch plane, and acceleration error, respectively. Also, K , T , and K_q denote the proportional, integral, and pitch plane gains of the controller of the pitch autopilot, respectively while $G_{q\delta}(s)$ and $G_{a\delta}(s)$ correspond to the relevant transfer functions. Here, the

controller gains are calculated using the known pole placement technique as per the specified bandwidth and damping ratio values of the autopilot [4].

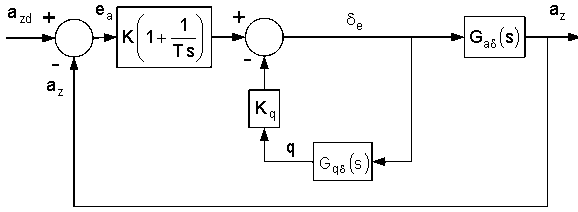


Figure 1. Block Diagram of the Pitch Autopilot [4]

3. Air Platform Model

Once the normal and tangential components of the linear acceleration vector of the air platform in F_0 , i.e. a_p^n and a_p^t , are designated as well as the initial values of its linear speed and orientation angle, i.e. v_{p0} and η_{p0} , the linear speed and orientation angle of the platform, i.e. v_p and η_p can be expressed depending on time as below polynomial [4]:

$$v_p(t) = v_{p0} + \int_{t_0}^t a_p^t(\sigma) d\sigma \quad (13)$$

$$\eta_p(t) = \eta_{pt0} + \int_{t_0}^t \frac{a_p^n(\sigma)}{v_p(\sigma)} d\sigma \quad (14)$$

where t_0 demonstrates the initial time of the missile-target engagement and symbol σ denotes the dummy integration variable.

Using equations (13) and (14), the longitudinal, lateral, and vertical components of the linear position vector of the platform in F_0 , i.e. x_p , y_p , and z_p , can be expressed in the next manner as x_{p0} , y_{p0} , and z_{p0} show the values of the linear position components at the beginning of the engagement [4]:

$$x_T(t) = x_{T0} + \int_{t_0}^t v_T(\sigma) \cos(\eta_t(\sigma)) d\sigma \quad (15)$$

$$y_T(t) = y_{T0} + \int_{t_0}^t v_T(\sigma) \sin(\eta_t(\sigma)) d\sigma \quad (16)$$

$$z_T(t) = f(t) \quad (17)$$

where $f(t)$ denotes a function changing in time.

4. Engagement Geometry between the Air Platform and Threat

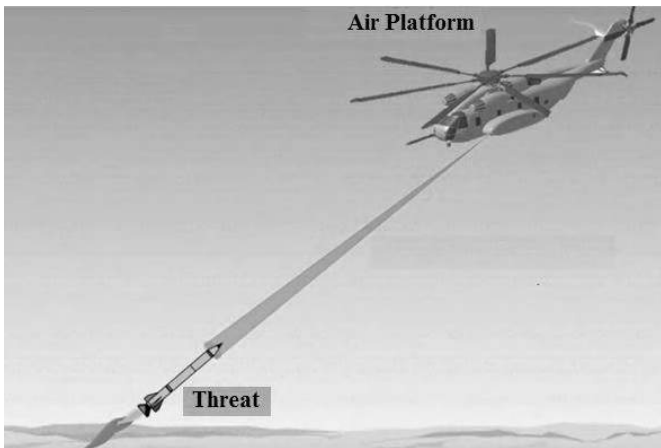


Figure 2. Engagement between the Air Platform and Threat

The engagement and related geometry between the air platform and surface-to-air threat are given in Figure 2 and Figure 3, respectively. In Figure 3, letters O , M , and P demonstrate the origin of F_0 , threat, or missile, and air platform, respectively. Moreover, $\vec{u}_i^{(0)}$ ($i=1, 2$, and 3) correspond to the unit vectors indicating the longitudinal, lateral, and vertical axes of F_0 , i.e. x , y , and z . Also, $\vec{r}_{M/O}$, $\vec{r}_{P/O}$, and $\vec{r}_{P/M}$ stand for the linear position vectors of the missile and target relative to point O , and linear position vector of the platform relative to the missile, respectively.

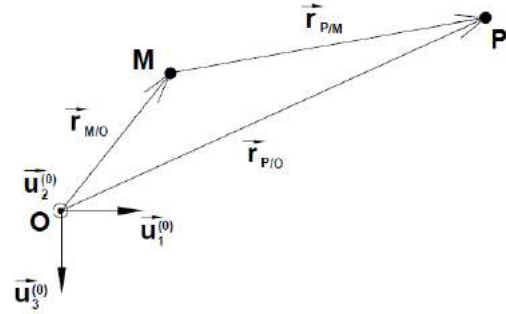


Figure 3. Engagement Geometry between the Air Platform and Threat

In addition to the magnitude of the LOS vector, i.e. $r_{T/M}$, the LOS angles which are the angles of the LOS vector with respect to the pitch and yaw planes, i.e. λ_p and λ_y , can be formulated as given below [4]:

$$r_{T/M} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (18)$$

$$\lambda_p = \arctan[-\Delta z \cos(\lambda_y) / \Delta x] \quad (19)$$

$$\lambda_y = \arctan(\Delta y / \Delta x) \quad (20)$$

Expressing the linear position vectors of the platform and threat relative to point O as $\vec{r}_{P/O} = x_P \vec{u}_1^{(0)} + y_P \vec{u}_2^{(0)} + z_P \vec{u}_3^{(0)}$ and $\vec{r}_{M/O} = x_M \vec{u}_1^{(0)} + y_M \vec{u}_2^{(0)} + z_M \vec{u}_3^{(0)}$, the forthcoming relative position components are defined in equations (18) through (20):

$$\Delta x = x_M - x_P \quad (21)$$

$$\Delta y = y_M - y_P \quad (22)$$

$$\Delta z = z_M - z_P \quad (23)$$

In the present work, the time elapsed from the initiation to the termination of the engagement, i.e. from t_0 to t_F , is called the engagement time.

5. Computer Simulations

The computer simulations are conducted for the constructed air platform-threat engagement geometry by regarding the numerical values submitted in Table 1 for the significant platform and threat parameters using the MATLAB[®] Simulink[®] software under the following conditions:

- ODE 45 differential equation solver is used.
- Operating frequency of the guidance loop is assigned to be 1 Hz.
- It is assumed that the threats, or surface-to-air missiles, are fired towards the air platform at a relative distance of 2,000 to 3,000 m.
- Apart from its constant-speed motion with v_{M0} as given in Table 1, the air platform is assumed to move with

normal accelerations of $0.5g$ and $-0.5g$ ($g=9.81 \text{ m/s}^2$) with an initial speed of v_{M0} as well.

- Aerodynamic coefficients are computed by regarding M_∞ between 0.3 and 2.7, and taking δ_e and δ_r between -10 and 10° . Also, the range between -17 and 19° is regarded for α and β .
- Lateral acceleration limit of the missile is regarded to be $\pm 30g$.
- Missile is supposed to be on the LOS at the beginning of the engagement.
- Total angular excursion of each control fin is limited to $\pm 20^\circ$.
- Simulations are terminated when the relative distance between the platform and threat drops below 2 m.

The block diagram of the engagement geometry between the air platform and threat is given in Fig. 4. Moreover, the resulting engagement geometries between the air platform and threat are submitted in Figure 5 through Figure 10.

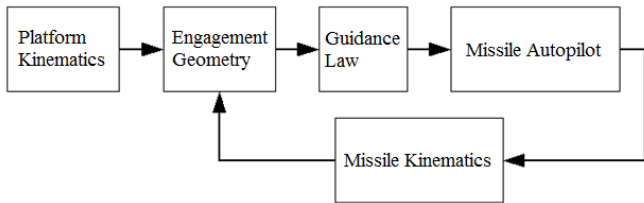


Figure 4. Block Diagram of the Engagement Geometry between the Air Platform and threat

Table 1. Numerical Values used in the Computer Simulations [3], [5]

Parameter	Numerical Value
x_{P0}	1,500 m
y_{P0}	50 m
z_{P0}	1,500 m
v_{P0}	33.3 m/s ($\approx 120 \text{ km/hr}$)
x_{M0}	0
y_{M0}	0
z_{M0}	0
v_{M0}	500 m/s ($=1,800 \text{ km/hr}$)
Missile Diameter	70 mm
Missile Length	2,000 mm
m	17.55 kg
I_{ma}	$0.02 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
I_{mt}	$5.85 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
N_p and N_y	3

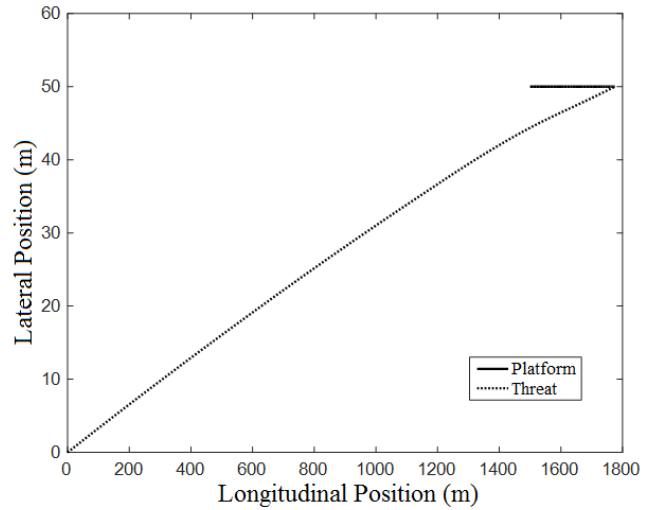


Figure 5. Horizontal Engagement Geometry When the Air Platform Moves at a Constant Speed

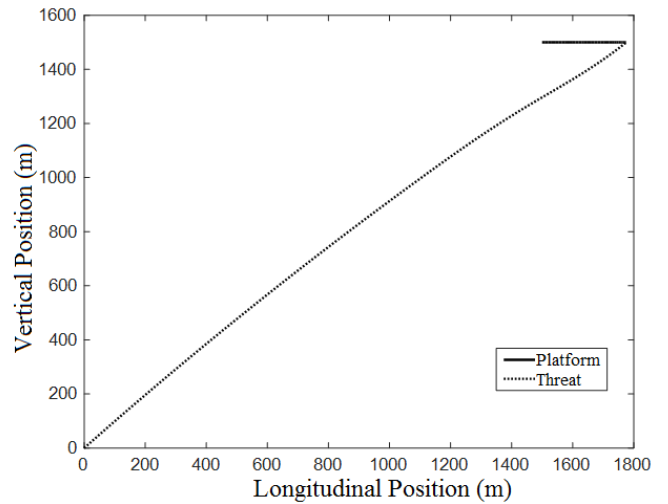


Figure 6. Vertical Engagement Geometry When the Air Platform Moves at a Constant Speed

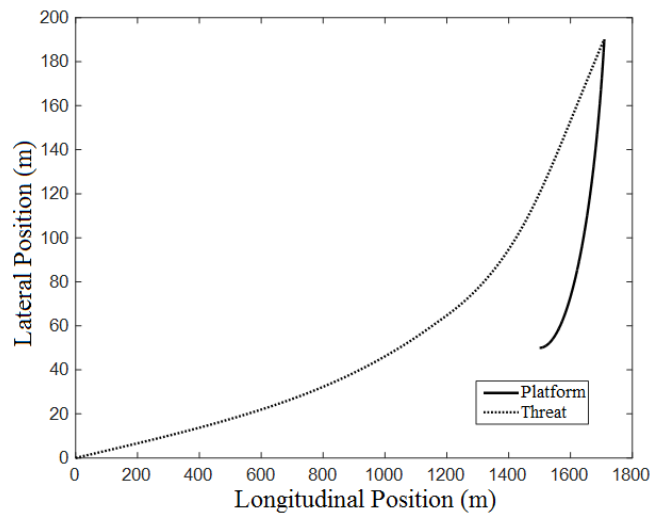


Figure 7. Horizontal Engagement Geometry When the Air Platform Maneuvers at a Normal Acceleration of $0.5g$

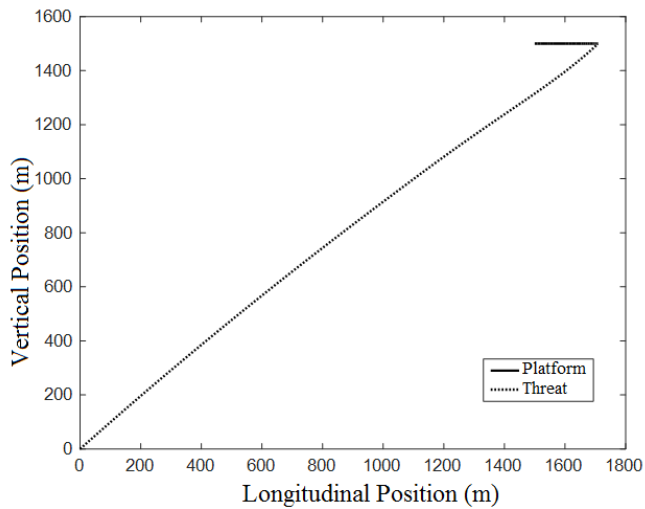


Figure 8. Vertical Engagement Geometry When the Air Platform Maneuvers at a Normal Acceleration of 0.5g

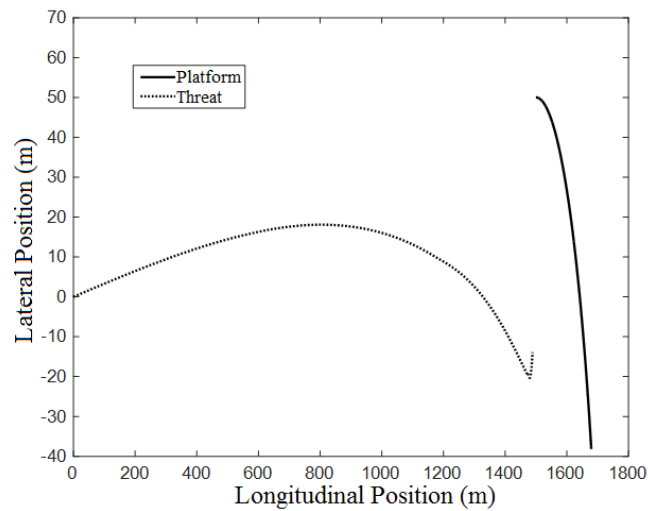


Figure 9. Horizontal Engagement Geometry When the Air Platform Maneuvers at A Normal Acceleration of $-0.5g$

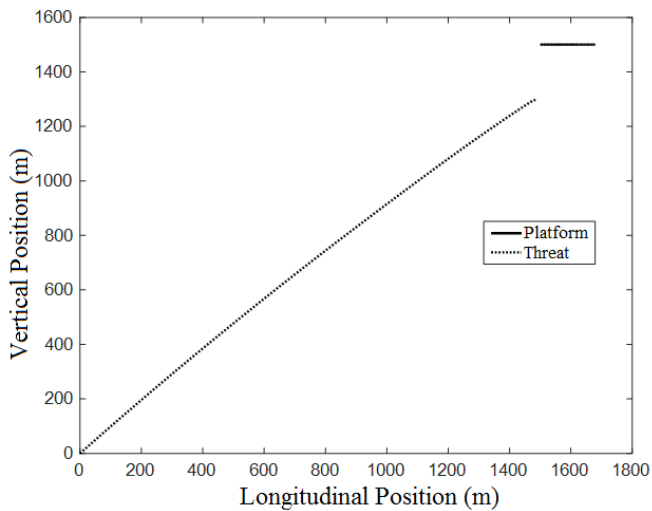


Figure 10. Vertical Engagement Geometry When the Air Platform Maneuvers at a Normal Acceleration of $-0.5g$

6. Conclusions

When the plots presented in Figure 5 through Figure 10 are examined, it is deduced that the air platform under consideration cannot escape from the threat fired from the surface if it moves at a constant speed and with a lateral acceleration of 0.5g. On the other hand, it can get away from the threat if it has a maneuver in the opposite direction at $-0.5g$. This way, it is observed that such an air platform can be disengaged from the threats by applying a convenient maneuver even if it does not carry a counter measure system.

References

- [1] S. Chapman, The Next Generation in Aircraft Protection against Advanced MANPADS, 2014.
- [2] W. Xin, L. Guofang, and X. Lizhong, X., "Infrared dim target detection based on visual attention", Infrared Physics & Technology, vol. 55, pp. 513-521, 2012.
- [3] B. Özkan, "Investigation of the kinematic performance characteristics of an antenna orientation mechanism utilized on a general-purpose aerial platform for threat detection (in Turkish)", 18th National Machine Theory Symposium (UMTS2017), Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 2017.
- [4] B. Özkan, M. K. Özgören and G. Mahmutyazıcıoğlu, "Comparison of the acceleration- and angle-based guidance laws for a short-range air-to-surface missile (in Turkish)", Automatic Control National Meeting in 2008 (TOK2008), İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 2008.
- [5] B. Özkan, "Dynamic modeling, guidance, and control of homing missiles", PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2005.



Investigation of the Performance Characteristics of the Angle-based Proportional Navigation Guidance Law

Bülent Özkan^{1*}

^{1*} Gazi University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3112-9723), bozkan@gazi.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1006720)

ATIF/REFERENCE: Özkan, B. (2021). Investigation of the Performance Characteristics of the Angle-based Proportional Navigation Guidance Law. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1172-1178.

Abstract

Guidance commands generated by the proportional navigation guidance (PNG) law which constitutes the most popular one among the guidance laws applied on the guidance munition fired against predetermined targets are in the form of linear acceleration or angular speed as dictated by the relevant engagement geometry. As a result of the studies in which notable linear acceleration- and angle-based guidance laws are compared, it is seen the lateral acceleration values obtained with the PNG law occur in a lower level than the results of the angle-based guidance laws. However, the angle-based guidance laws lead to lower final miss distances. In this study, the PNG law is so adapted that it yields angle-based guidance commands and then it is applied upon a short range air-to-surface missile against a maneuvering surface target as well as the velocity pursuit guidance law that is nothing but a version of PNG law, linear homing guidance law, and body pursuit guidance law. After the computer simulations, it is observed that the angle-based PNG law produces smaller final miss distances compared to its original form. The resulting lateral accelerations are in admissible levels. Also, the engagement duration values with the target happen to be almost the same.

Keywords: Guidance, Proportional Navigation Guidance, Guided Munition, Acceleration-based Guidance, Angle-based Guidance.

Açı Komutu Esaslı Oransal Seyrüsefer GÜdüm Kuralının Başarım Özelliklerinin İncelenmesi

Öz

Güdümlü mühimmatı önceden belirlenen hedeflere yönlendirmek amacıyla uygulanan güdüm kurallarından en popüler olan oransal seyrüsefer (OS) güdüm kuralı tarafından üretilen güdüm komutları, ilgili eşleşme geometrisinin öngördüğü üzere doğrusal ivme veya açısal hız formundadır. Doğrusal ivme ve açı esaslı başlıca güdüm kurallarının karşılaştırıldığı çalışmalarda OS ile elde edilen azami yanal ivme değerlerinin açı esaslı güdüm kurallarının sonuçlarından daha düşük olduğu, buna karşın hedeften nihai sapma bakımından açı esaslı yöntemlerin üstün olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, OS güdüm kuralı açı esaslı güdüm komutları üretecek şekilde uyarlanmış ve OS'nin bir türevi olan hız takibi güdüm kuralı ile doğrusal hedef takibi ve gövde takibi kurallarıyla birlikte manevra yapan bir yer hedefine karşı havadan fırlatılan kısa menzilli bir füzeye uygulanmıştır. Bilgisayar benzetimleri sonucunda açı esaslı OS kuralının orijinal formuna göre daha düşük hedeften nihai sapma ürettiği ve kabul edilebilir düzeyde yanal ivmeye sebebiyet verdiği gözlenmiştir. Hedefle eşleşme süresi için elde edilen sonuçlar ise birbirine yakın çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güdüm, Oransal Seyrüsefer Güdüm, Güdümlü Mühimmat, İvme Esaslı Güdüm, Açı Esaslı Güdüm.

* Corresponding Author: bozkan@gazi.edu.tr

1. Introduction

It is vital to make the motion planning of autonomous munition including missiles and smart bombs in a convenient manner in order to orient them towards specified targets with high precision. Regarding the autonomous munition, the conventional approach in the motion planning is the guidance and control algorithms. The guidance schemes constructed in the form of kinematic relationships based on the engagement geometry between the munition under consideration and target often provides the munition with tracking and destroying the target successfully [1], [2].

Looking at the relevant literature, it is seen that the proportional navigation guidance (PNG) law constitutes the most popular guidance law because of its simplicity and effectiveness. Principally, the PNG attempts to nullify the time change of the angular displacements of the line of sight between the munition and target with respect to the horizontal and vertical planes of the Earth-fixed reference frame (F_0). As per the mentioned strategy, the guidance commands of the PNG law are generated in the form of the lateral components of the linear acceleration vector or in the form of the time change of the flight path angles of the munition [1], [2].

Unlike the PNG law, some of the guidance laws including the linear homing guidance (LHG) and body pursuit guidance (BPG) laws yield guidance commands in the form of angles. As these angles are the flight path angles of the munition in the LHG law, the orientation angles of the munition with respect to the horizontal and vertical planes become the commands of the BPG law. Comparing the linear acceleration- and angle-based guidance laws, it is observed that the PNG law produces higher results than its angle-based counterparts in terms of the final miss distance criterion even though it seems to be more advantageous in the maximum lateral acceleration requirement. On the other hand, lower lateral acceleration values could be achieved with the angle-based guidance laws by utilizing an autopilot scheme having a bandwidth profile which linearly increases in time. The cost of this improvement becomes a reasonable increment in the final miss distance value [3], [4], [5].

Angle-based guidance laws are utilized to the motion planning of the mechatronic systems other than autonomous guided munition. In this extent, it is shown by means of the computer simulations that the motion strategy to carry the considered autonomous robot manipulator, quadrotor, and tracked vehicle to predefined target points can be planned using a convenient guidance law depending on the designed scenario [3], [6], [7], [8].

In this study, the PNG law is tried to be expressed such that it generates the guidance commands in angular form for the sake of improving its resultant final miss distance value and implementing it to mechatronic systems other than guided munition. Here, the mentioned angular parameter is selected to be the flight path angles of the munition. Making this modification, it is intended to keep the angular displacement of the line of sight at a constant value. The performance characteristics of the proposed PNG scheme are submitted over a short-range air-to-surface missile against a maneuvering ground target apart from the velocity pursuit guidance (VPG), LHG, and BPG laws in a comparative manner. In the computer

simulations which cover the acceleration-based PNG law and angle autopilot with a varying bandwidth, the final miss distance, engagement time, and maximum lateral acceleration requirement of the missile are chosen as the comparison criteria in addition to the total energy expenditure of the control actuation system (CAS) which constitutes one of the subsystems of the missile.

2. Dynamic Modeling of the Missile

The control of the air-to-surface missile whose schematic representation is shown in Figure 1 is carried out by means of the canard fins which are placed close to the nose part. In Figure 1, $\vec{u}_j^{(b)}$, δ_i , and C_M denote the j th unit vector of the missile-fixed reference frame (F_b) as $j=1, 2, \text{ and } 3$, angular displacement of i th control fin as $i=1, 2, 3, \text{ and } 4$, and mass center of the missile, respectively.

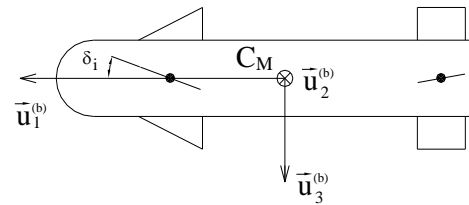


Figure 1. Missile Geometry

The dynamic behavior of the missile can be defined using the following equations [5]:

$$\dot{u} - rv + qw = (X + X_T)/m + g_x \quad (1)$$

$$\dot{v} + ru - pw = (Y + Y_T)/m + g_y \quad (2)$$

$$\dot{w} - qu + pv = (Z + Z_T)/m + g_z \quad (3)$$

$$\dot{p} = L/I_a \quad (4)$$

$$\dot{q} - pr = (M + M_T)/I_t \quad (5)$$

$$\dot{r} + pq = (N + N_T)/I_t \quad (6)$$

For the longitudinal, lateral, and vertical components of the relevant vectors in F_b , the forthcoming definitions are introduced:

m : Mass of the missile

I_a and I_t : Longitudinal and lateral moment of inertia components of the missile

p , q , and r : Components of the angular velocity vector in the roll, pitch, and yaw directions

u , v , and w : Components of the linear velocity vector of the missile

X , Y , and Z : Components of the aerodynamic force acting on the mass center of the missile

L , M , and N : Components of the aerodynamic moment vector acting on the missile body vector in the roll, pitch, and yaw directions

X_T , Y_T , and Z_T : Components of the thrust vector acting on the mass center of the missile

L_T , M_T , and N_T : Components of the thrust misalignment moment vector acting on the missile body

g_x , g_y , and g_z : Components of the gravity vector acting on the mass center of the missile

Assuming that the angular motion of the missile in the roll plane is nullified by means of the roll autopilot prior to its motion in the pitch and yaw planes, i.e. $p \approx 0$, the equations of motion of the missile can be obtained for the phases after the burnout by regarding equations (2), (3), (5), and (6) in the following manner [5]:

$$\dot{w} - qu = (Z/m) + g_z \quad (7)$$

$$\dot{q} = M/I_t \quad (8)$$

$$\dot{v} + ru = (Y/m) + g_y \quad (9)$$

$$\dot{r} = N/I_t \quad (10)$$

The aerodynamic force and moment components within equations (7) through (10), i.e. X , Y , M , and N , can be approximated by means of the next linear functions [5]:

$$Y = C_y q_\infty S_M \quad (11)$$

$$Z = C_z q_\infty S_M \quad (12)$$

$$M = C_m q_\infty S_M d_M \quad (13)$$

$$N = C_n q_\infty S_M d_M \quad (14)$$

In the relationships above, q_∞ , S_M , and d_M represent the dynamic pressure acting on the missile, cross-sectional area of the missile, and missile diameter, respectively. Here, the aerodynamic coefficients expressed by C_y , C_z , C_m , and C_n can be written as functions of the angle of attack (α), side slip angle (β), elevator angle (δ_e), rudder angle (δ_r), q , and r as follows [5]:

$$C_y = C_{y\beta}\beta + C_{y\delta}\delta_r + C_{y_r}[d_M/(2v_M)]r \quad (15)$$

$$C_z = C_{z\alpha}\alpha + C_{z\delta}\delta_e + C_{z_q}[d_M/(2v_M)]q \quad (16)$$

$$C_m = C_{m\alpha}\alpha + C_{m\delta}\delta_e + C_{m_q}[d_M/(2v_M)]q \quad (17)$$

$$C_n = C_{n\beta}\beta + C_{n\delta}\delta_r + C_{n_r}[d_M/(2v_M)]r \quad (18)$$

In these equations, v_M indicates the magnitude of the linear velocity vector of the missile. During the computer simulations, the stability derivatives which are symbolized by $C_{y\beta}$, $C_{y\delta}$, C_{y_r} , $C_{z\alpha}$, $C_{z\delta}$, C_{z_q} , $C_{m\alpha}$, $C_{m\delta}$, C_{m_q} , $C_{n\beta}$, $C_{n\delta}$, and C_{n_r} as functions of Mach number (M_∞) are updated depending on the current values of the flight parameters using the aerodynamic data tables prepared.

3. Guidance Laws

The PNG law is described in the pitch and yaw planes of F_b in the following manner [5]:

$$a_p^c = -N_p v_M \dot{\lambda}_p \cos(\lambda_y - \eta_m) \quad (19)$$

$$a_y^c = N_y v_M [\dot{\lambda}_y \cos(\gamma_m) - \dot{\lambda}_p \sin(\gamma_m) \sin(\lambda_y - \eta_m)] \quad (20)$$

where γ_m and η_m denote the flight path angles which are the angles of the missile velocity vector with respect to the pitch and yaw planes, respectively. As p and y letters indicates the pitch and yaw planes in sequel, a_p^c and a_y^c correspond to the reference signals to the missile control system, i.e. missile autopilot, N_p and N_y denote the effective navigation ratios, and λ_p and λ_y represent the orientation angles of the line-of-sight (LOS) vector with respect to the pitch and yaw planes of F_0 .

Dividing the acceleration terms given in equations (19) and (20) by v_M yields the guidance commands in terms of the time change of the flight path angles, i.e. $\dot{\gamma}_m^c$ and $\dot{\eta}_m^c$:

$$\dot{\gamma}_m^c = \dot{\gamma}_m^c(t) = -N_p \dot{\lambda}_p \cos(\lambda_y - \eta_m) \quad (21)$$

$$\dot{\eta}_m^c = \dot{\eta}_m^c(t) = N_y [\dot{\lambda}_y \cos(\gamma_m) - \dot{\lambda}_p \sin(\gamma_m) \sin(\lambda_y - \eta_m)] \quad (22)$$

The integral of equations (21) and (22) over time gives the commands of the PNG law in terms of the flight path angles:

$$\gamma_m^c = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\gamma}_m^c dt \quad (23)$$

$$\eta_m^c = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\eta}_m^c dt \quad (24)$$

where, as t corresponds the time variable, t_1 and t_2 stand for the initiation and termination time parameters of the discrete time segment through which the integration action is utilized.

Making N_p and N_y unity in equations (21) and (22), the PNG law turns into the VPG law. The aim with this law is to coincide the missile velocity vector with the virtual LOS vector between the missile and target and thus to maintain the direction of the missile velocity vector towards the target throughout the engagement [5].

The output angles of the BPG law in which the longitudinal axis of F_b is tried to be put upon the LOS vector, i.e. θ_c and ψ_c , can be expressed as follows [5]:

$$\theta^c = \lambda_p \quad (25)$$

$$\psi^c = \lambda_y \quad (26)$$

In the LHG law, the position of the missile is intended to be kept on the collision triangle formed by the missile, target, and predicted collision point during the engagement duration. As per the LHG law, the guidance commands are introduced in terms of the flight path angles of the missile in the pitch and yaw planes [3], [4], [5]:

$$\gamma_m^c = \arctan[(\Delta z - v_{Tz}\Delta t)/(\zeta_x \cos(\eta_m) + \zeta_y \sin(\eta_m))] \quad (27)$$

$$\eta_m^c = \arctan[(v_{Ty}\Delta t - \Delta y)/(v_{Tx}\Delta t - \Delta x)] \quad (28)$$

where Δx , Δy , and Δz stand for the components of the relative position vector between the missile and target in F_0 . Also, Δt denotes the instantaneous duration which is required for the missile to attain the prescribed collision point. In the equations, $\zeta_x = v_{Tx}\Delta t - \Delta x$ and $\zeta_y = v_{Ty}\Delta t - \Delta y$ as well. Here, v_{Tx} , v_{Ty} , and v_{Tz} express the components of the missile velocity vector in F_0 .

4. Missile Control System

The autopilots are designed separately in the roll, pitch, and yaw planes of the missile in order to realize the guidance commands generated by the considered guidance law. An autopilot basically consists of a controller, CAS, gyros, accelerometers, and plant. In this arrangement, the missile constitutes the plant. In the modeling, the gyros, accelerometers, and CAS are so selected that their operating frequencies are higher than the bandwidth of the autopilots in order for them not to affect the entire missile dynamics.

The angle autopilots which realize the command signals produced by the PNG, VPG, BPG, and LHG laws by converting them into physical motion in the pitch and yaw planes can be defined using the following transfer functions [3], [5]:

$$\frac{\gamma_m(s)}{\gamma_m^c(s)} = \frac{n_{\gamma_3}s^3 + n_{\gamma_2}s^2 + n_{\gamma_1}s + 1}{d_{\gamma_4}s^4 + d_{\gamma_3}s^3 + d_{\gamma_2}s^2 + d_{\gamma_1}s + 1} \quad (29)$$

$$\frac{\eta_m(s)}{\eta_m^c(s)} = \frac{n_{\eta_3}s^3 + n_{\eta_2}s^2 + n_{\eta_1}s + 1}{d_{\eta_4}s^4 + d_{\eta_3}s^3 + d_{\eta_2}s^2 + d_{\eta_1}s + 1} \quad (30)$$

where $n_{\gamma_1}, n_{\gamma_2}, n_{\gamma_3}, d_{\gamma_1}, d_{\gamma_2}, d_{\gamma_3}, d_{\gamma_4}, n_{\eta_1}, n_{\eta_2}, n_{\eta_3}, d_{\eta_1}, d_{\eta_2}, d_{\eta_3}$, and d_{η_4} coefficients are functions of the diameter, mass, moment of inertia, and velocity components of the missile as well as the autopilot gains, dynamic pressure, and aerodynamic coefficients.

The autopilot gains are determined by equating the characteristic polynomial, i.e. the denominator polynomial, of the transfer functions given in equations (29) and (30) to a standard fourth-order Butterworth polynomial such that they provide the autopilot with having stability and desired bandwidth value [3], [5].

While the designed angle autopilots can directly be used with the PNG, VPG, and LHG laws, the forthcoming modification should be made for the case with the BPG law:

$$\gamma_m^c = \theta^c - \alpha \quad (31)$$

$$\eta_m^c = \psi^c + [\beta / \cos(\theta^c)] \quad (32)$$

For the comparison purpose, the transfer functions of the pitch and yaw autopilots whose reference signals are in the form of linear acceleration components are derived for the traditional PNG law [3], [5]:

$$\frac{a_z(s)}{a_p^c(s)} = \frac{(T_p s + 1)(n_{p2}s^2 + n_{p1}s + 1)}{a_{p3}s^3 + a_{p2}s^2 + a_{p1}s + 1} \quad (33)$$

$$\frac{a_y(s)}{a_y^c(s)} = \frac{(T_y s + 1)(n_{y2}s^2 + n_{y1}s + 1)}{a_{y3}s^3 + a_{y2}s^2 + a_{y1}s + 1} \quad (34)$$

where $T_p, n_{p1}, n_{p2}, a_{p1}, a_{p2}, a_{p3}, T_y, n_{y1}, n_{y2}, a_{y1}, a_{y2}$, and a_{y3} parameters are functions of the diameter, mass, moment of inertia, and velocity components of the missile as well as the autopilot gains, dynamic pressure, and aerodynamic coefficients.

Similar to the angle autopilot, the gains of the acceleration autopilots are determined by equating the characteristic polynomials of the transfer functions in equations (33) and (34) to a standard third-order Butterworth polynomial [3], [5].

In the computer simulations, a roll autopilot is run at a bandwidth value four times the bandwidth of the pitch and yaw autopilots in order to make the angular motion of the missile around the roll axis zero at the beginning of the engagement.

5. Target Kinematics

Once the normal and tangential components of the linear acceleration vector of the ground target in F_0 , i.e. a_T^n and a_T^t , are designated as well as the initial values of its linear speed and orientation angle, i.e. v_{T0} and η_{t0} , the linear speed and orientation angle of the target, i.e. v_T and η_t can be expressed depending on time as below [5]:

$$v_T(t) = v_{T0} + \int_{t_0}^t a_T^t(\sigma) d\sigma \quad (35)$$

$$\eta_t(t) = \eta_{t0} + \int_{t_0}^t \frac{a_T^n(\sigma)}{v_T(\sigma)} d\sigma \quad (36)$$

where t_0 demonstrates the initial time of the missile-target engagement and symbol σ denotes the dummy integration variable.

Applying the time integral to equations (35) and (36), the expressions giving the change of the target position in time are found by taking the initial values of the horizontal target position, i.e. x_{T0} and y_{T0} into consideration in the following fashion [5]:

$$x_T(t) = x_{T0} + \int_{t_0}^t v_T(\sigma) \cos(\eta_t(\sigma)) d\sigma \quad (37)$$

$$y_T(t) = y_{T0} + \int_{t_0}^t v_T(\sigma) \sin(\eta_t(\sigma)) d\sigma \quad (38)$$

where, for the sake of simplifying the problem, the elevation of the target from the ground is taken to be constant, i.e. $z_T(t) = z_{T0}$.

6. Missile-Target Engagement Model

In addition to the magnitude of the LOS vector, i.e. $r_{T/M}$, the LOS angles which are the angles of the LOS vector with respect to the pitch and yaw planes, i.e. λ_p and λ_y , can be formulated as given below [5]:

$$r_{T/M} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (39)$$

$$\lambda_p = \arctan[-\Delta z \cos(\lambda_y) / \Delta x] \quad (40)$$

$$\lambda_y = \arctan(\Delta y / \Delta x) \quad (41)$$

Since a ground target is considered in the present study, the final miss distance at the end of the engagement, i.e. d_{miss} , can be calculated once the vertical component of $r_{T/M}$ becomes zero, i.e. $\Delta z = 0$ [5]:

$$d_{miss} = \sqrt{\Delta x^2(t_F) + \Delta y^2(t_F)} \quad (42)$$

where t_F represents the termination time of the engagement.

7. Computer Simulations

The computer simulations are conducted using the MATLAB[®] Simulink[®] software under the following conditions:

- ODE 45 differential equation solver is used.
- Initial elevation and speed values of the missile are specified as 200 m and 1,2 Mach, i.e. 408 m/s, respectively.
- Initial position of the target with respect to the missile is taken to be 2,000 m horizontally and 500 m laterally.
- Target is assumed to move at a constant speed of 90 km/hr and 0.5g ($g=9.81 \text{ m/s}^2$) lateral acceleration.
- Aerodynamic coefficients are computed by regarding M_∞ between 0.3 and 2.7, and taking δ_e and δ_r between -10 and 10° . Also, the range between -17 and 19° is regarded for α and β .
- For the cases with the PNG law, N_p and N_y are set to 3.
- Lateral acceleration limit of the missile is regarded to be $\pm 30g$.
- Missile is supposed to be on the LOS at the beginning of the engagement.
- As a subsystem of the missile whose energy expenditure is much larger than the other subsystems

and components, the total energy expenditure of the CAS which is the summation of the individual consumption of each of the four control fins, i.e. ECAS, is approximately calculated using the next equality:

$$E_{CAS} = \left(\sum_{i=1}^4 |K_{HM} \cdot \delta_i \cdot \dot{\delta}_i| \right) \cdot t_{eng} \quad (43)$$

where K_{HM} and t_{eng} symbols stand for the average hinge moment coefficient of the control fins and total engagement time, respectively.

- $K_{HM}=50$ N·m/rad is considered.
- Total angular excursion of each control fin is limited to $\pm 20^\circ$.
- Angle autopilots are run in two modes. While the bandwidth of the autopilots is kept constant at 5 Hz in the first mode, the quantity whose initial value is 1 Hz reaches 5 Hz at the end of the first second for the sake of diminishing the lateral acceleration requirement.

Evaluating the data acquired from the computer simulations for all the designated situations, the PNG, VPG, BPG, and LHG laws are compared according to the final miss distance, engagement time, maximum lateral acceleration requirement, and total energy expenditure of the CAS. The sample engagement geometries are given in Figure 2 through Figure 7. Also, the results for the autopilots with the constant- and varying-bandwidth values are shown in Table 1 and Table 2.

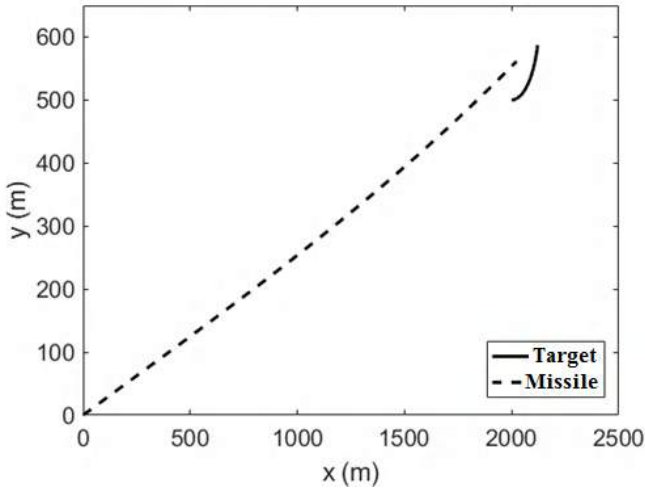


Figure 2. Horizontal Engagement Geometry for Case 1

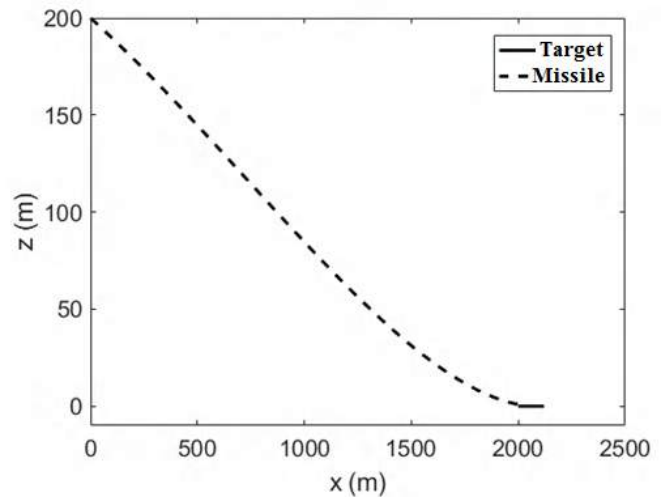


Figure 3. Vertical Engagement Geometry for Case 1

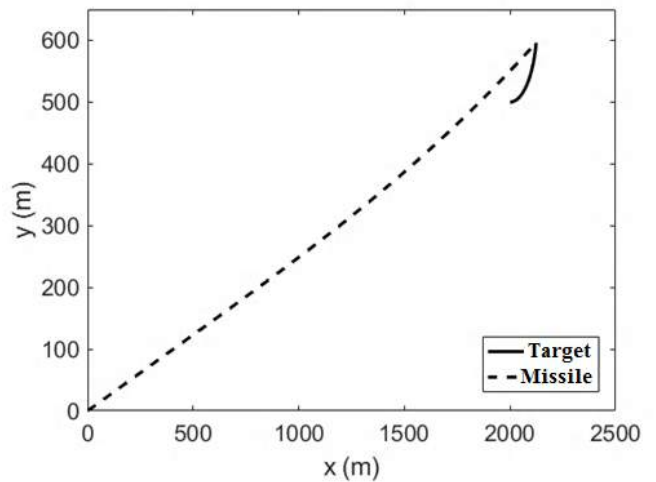


Figure 4. Horizontal Engagement Geometry for Case 2

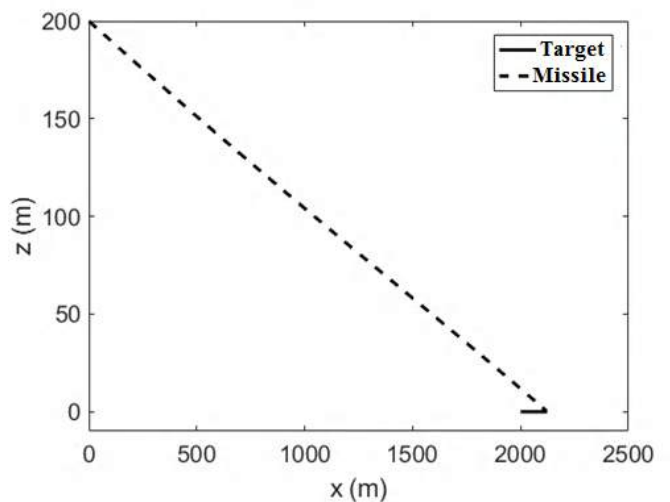


Figure 5. Vertical Engagement Geometry for Case 2

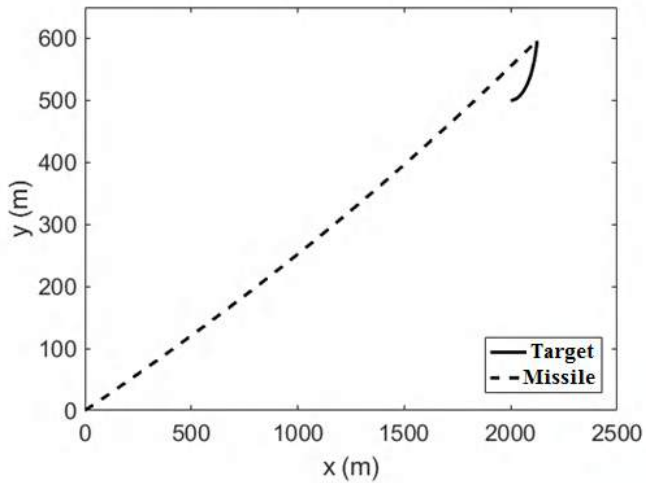


Figure 6. Horizontal Engagement Geometry for Case 5

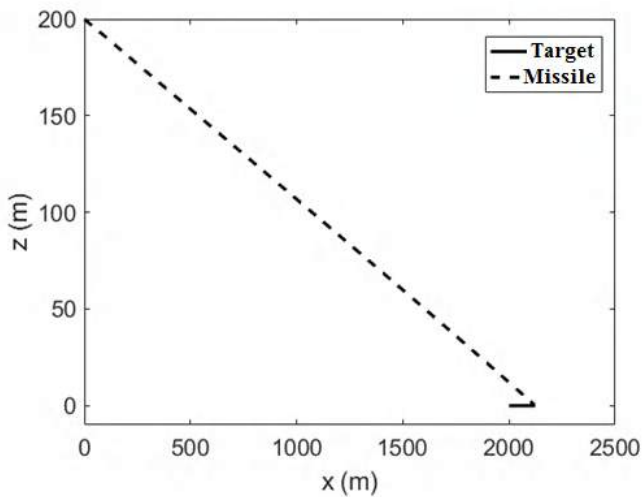


Figure 7. Vertical Engagement Geometry for Case 5

8. Conclusions

Evaluating the results attained at the end of the computer simulations in Table 1 and Table 2, it is observed that the angle-based PNG law with a constant-bandwidth autopilot leads to smaller miss distance than its acceleration-based counterpart. On the other hand, the engagement time, maximum lateral acceleration requirement, and total energy expenditure quantities become larger with the angle-based PNG law. Although the mentioned increment in the maximum lateral acceleration requirement seems higher than the lateral acceleration limit of the missile considered in this study, these values are, actually, within the design tolerances of the missile. When the varying-bandwidth autopilots are preferred in the simulations, smaller numbers occur for all the comparison criteria except the increasing engagement time. Hence, it can be stated that the angle-based PNG law with a varying bandwidth autopilot gets superior to the angle-based PNG law with a constant bandwidth autopilot. Besides, the angle-based PNG law produces smaller results than the cases with the LHG law for the both types of the autopilots. While reasonable data are reached with the VPG law, the final miss distance value resulted from the use of the BPG law is not acceptable to hit a target.

Consequently, it can be concluded that the angle-based PNG law yields better results than the other guidance laws considered within the present study. This law can, in fact, be utilized into autonomous mechatronic systems other than guided munition as well.

References

- [1] B. Özkan, "Dynamic modeling, guidance, and control of homing missiles", PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2005.
- [2] P. Zarchan, P., Tactical and Strategic Missile Guidance, Second Edition, Progress in Astronautics and Aeronautics, USA, 1994.
- [3] B. Özkan, M. K. Özgören, and G. Mahmutyazıcıoğlu, "Performance comparison of the notable acceleration- and angle-based guidance laws for a short-range air-to-surface missile", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, vol. 25, pp. 3591-3606, 2017.
- [4] B. Özkan, M. K. Özgören and G. Mahmutyazıcıoğlu, "Comparison of the notable acceleration- and angle-based guidance laws for a short-range air-to-surface missile", 18th IFAC World Congress, Milan, Italy, 2011.
- [5] B. Özkan, M. K. Özgören and G. Mahmutyazıcıoğlu, "Comparison of the acceleration- and angle-based guidance laws for a short-range air-to-surface missile (in Turkish)", Automatic Control National Meeting in 2008 (TOK2008), İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 2008.
- [6] B. Özkan, "Guidance and control of an autonomous tracked vehicle using the linear homing guidance law (in Turkish)", Automatic Control National Meeting in 2013 (TOK2013), İnönü University, Malatya, Turkey, 2013.
- [7] B. Özkan, "Guidance and control of a planar robot manipulator used in an assembly line", Transactions of the Institute of Measurement and Control, pp. 1-11, 2016.
- [8] B. Özkan, "Guidance and control of a quadrotor towards a moving land platform", Gazi Journal of Engineering Sciences, vol. 3, no. 2, pp. 1-14, 2017.

Table 1. Simulation Results Obtained for the Autopilots with a Constant Bandwidth

Case Number	Guidance Law	Guidance Command Type	Final Miss Distance (m)	Engagement Time (s)	Maximum Lateral Acceleration Requirement (g)	Total Energy Expenditure (kJ)
1	PNG	Linear Acceleration	102.068	6.362	2.585	20.139
2		Angle	3.195	6.733	31.172	26.679
3	VPG		6.367	6.740	38.356	28.498
4	BPG		139.272	5.717	321.021	1080
5	LHG		4.339	6.730	74.041	38.137

Table 2. Simulation Results Obtained for the Autopilots with Varying Bandwidth

Case Number	Guidance Law	Guidance Command Type	Final Miss Distance (m)	Engagement Time (s)	Maximum Lateral Acceleration Requirement (g)	Total Energy Expenditure (kJ)
6	PNG	Angle	2.381	6.802	12.636	23.859
7	VPG		6.598	6.802	34.528	25.829
8	BPG		141.298	5.711	364.401	1398
9	LHG		3.839	6.860	16.215	24.691



Kesikli Akım Elektrobiriktirme Yöntemiyle Üretilen Ni/W-Si₃N₄ Kompozitlerinin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerine Si₃N₄ Konsantrasyonunun Etkisi

Harun Gül^{1*}, Nuri Ergin², Mehmet Uysal³

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-4589-3506), harungul@subu.edu.tr

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya, Türkiye (ORCID ID 0000-0001-9025-9419), nergin@subu.edu.tr

³Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-9396-7450), mehmetu@sakarya.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013327)

ATIF/REFERENCE: GÜL, H. (2021). Kesikli Akım Elektrobiriktirme Yöntemiyle Üretilen Ni/W-Si₃N₄ Kompozitlerinin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerine Si₃N₄ Konsantrasyonunun Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1179-1184.

Öz

Bu çalışmada, Ni/W-Si₃N₄ kompozitleri kesikli akım elektrobiriktirme (KEB) yöntemiyle üretilmiştir. Ni/W alaşımlarının saf nikelden çok daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı Ni/W alaşım matrisli Si₃N₄ partikül takviyeli kompozitler KEB tekniği ile geliştirilmiştir. Banyo çözeltisi içerisindeki dört farklı silisyum nitrid (Si₃N₄) konsantrasyonunun üretilen kompozitlerin mikroyapısı, mikrosertliği ve aşınma özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. KEB tekniği ile üretilen Ni/W-Si₃N₄ kompozitlerin karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD), mikrosertlik test cihazı ve sürtünme aşınma testi ile gerçekleştirilmiştir. Kesikli akım elektrobiriktirme (KEB) yöntemiyle üretilen dört farklı kompozit kaplama arasından 15 g/L partikül konsantrasyonu ile üretilen Ni/W-Si₃N₄ kompoziti en uygun partikül konsantrasyonu olarak tespit edilmiş olup, elde edilen kompozit kaplama ile yaklaşık 800 HV'lik sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca XRD analizinden scherrer formülü ile alaşım matrisin ortalama krsitalin boyutları hesaplanmış ve alaşımın ortalama kristalin tane boyutunun yaklaşık yarı yarıya azaldığı ve 12.14 nm seviyelerine kadar düştüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde yapılan kompozitlerin aşınma performanslarını ortaya koymak için yapılan aşınma testleri sonucunda da sürtünme katsayısının optimum partikül miktarı içeren Ni/W-Si₃N₄ kompozit kaplamalarda 0,45 m değerlerine kadar düştüğü ve aynı kompozit için aşınma hızının ise yaklaşık 1/3 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Si₃N₄, tungsten, kesikli akım, sertlik, aşınma.

Effect of Si₃N₄ Concentration on Microstructure and Wear Properties of Ni/W- Si₃N₄ Composites Produced by Pulse Current Electrodeposition Technique

Abstract

In this study, Ni/W-Si₃N₄ composites were produced by pulse current electrodeposition (PED) method. Since Ni/W alloys have much better mechanical properties than pure nickel, Si₃N₄ particle reinforced composites with Ni/W alloy matrix were developed with PED technique. The effects of four different silicon nitride (Si₃N₄) concentrations in the bath solution on the microstructure, microhardness and wear properties of the produced composites were investigated. The characterization of Ni/W-Si₃N₄ composites produced by PED technique was carried out by scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), microhardness tester and friction wear test. Ni/W-Si₃N₄ composite produced with a particle concentration of 15 g/L among four different composite coatings produced by the pulsed current electrodeposition (PED) method was determined as the most suitable particle concentration, and hardness values of approximately 800 HV were reached with the obtained composite coating. In addition, the average crystalline size of the alloy matrix were calculated with the Scherrer formula from the XRD analysis, and it was determined that the average crystalline grain size of the alloy decreased by about half and decreased to the level of 12.14 nm. Similarly, as a result of the wear tests carried out to reveal the wear performance of the composites, it was determined that the friction coefficient decreased to 0.45 μ in the Ni/W-Si₃N₄ composite coatings containing the optimum particle amount, and the wear rate for the same composite decreased by about 1/3.

Keywords: Si₃N₄, tungsten, pulse current, hardness, wear.

* Sorumlu Yazar: harungul@subu.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda nikel esaslı kaplamalar, mekanik işlemlerde/parçalarda kullanılmak üzere güçlendirilmiş kaplama tabakası (kompozit kaplama) olarak yaygın bir şekilde araştırılmaktadır (Xia vd., 2021). Nikel esaslı kaplamaların rulmanlar, dişliler, petrol, doğal gaz, ve uçak sanayi gibi farklı endüstrilerde uygulama alanına sahip olduğu bilinmektedir. Bu amaçlara ve uygulama alanlarına yönelik olarak nikel esaslı kaplamaların mikrosertliğini, aşınma dayanımını ve korozyon direncini arttırmak için TiN, TiO₂, SiC, Al₂O₃, BN, WC, ve elmas gibi ikinci faz seramik parçacıklar tercih edilmektedir (Xia vd., 2021; Xia vd., 2020; Gul vd., 2012).

Özellikle son yıllarda yapılan araştırmalar Ni/W alaşım kaplamaların saf nikel kaplamalara göre çok daha iyi mekanik ve korozyon özelliklerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Gyawali vd., 2016; Goldasteh vd., 2014; Indyka vd., 2014). Yüksek sertleştirme kabiliyeti ve korozyon direncine olan olumlu etkisinden dolayı W ilavesi önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Ni-W alaşımında daha yüksek W içeriği birçok uygulama için istense de, tungsten içeriğini %30'un üzerinde elde edilmesi ise bazı teknik sınırlamalara/sorunlara yol açmaktadır. Ni-W katı çözeltisinin tungsten içeriği arttıkça, kaplama tabakasının mukavemeti ve biriktirmenin katot akım verimliliği azalır (Gyawali vd., 2016; Brenner vd., 1963).

Benzer şekilde Ni-W alaşım matrisi içerisine partiküllerin dahil edilmesi, kaplama özelliklerinin daha da arttığını göstermiştir. Kaplama özelliklerindeki bu artış, kompozitin dispersiyon sertleşmesi, mikroyapısal değişiklikler, matrisin tane modifikasyonu vb. ile ilgili olabilir (Gyawali vd., 2016; Li vd., 2018). Özellikle Ni-W matris içerisine SiC (Yao vd., 2007), La₂O₃ (Han vd., 2009), B₄C (Li vd., 2021), MoS₂ (Cardinal vd., 2009), Al₂O₃ (Allahyarzadeh vd., 2016), ve ZrO₂ (Li vd., 2020) gibi partiküllerin dahil edilmesi çalışmaları söz konusu olmakla birlikte alaşım matris içerisine Si₃N₄ seramik partiküllerinin ilave edilmesinin etkisinin incelendiği detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca Si₃N₄ partiküllerinin kimyasal olarak inert, kararlı ve mekanik olarak yüksek mukavemetli bir seramik olduğu bilinmektedir. Bu nedenle yapı içerisine Si₃N₄ partikülleri kaplamaların mikroyapı, sertlik ve aşınma özelliklerini belirlemek amacıyla ilave edilmiştir.

Bununla birlikte Ni/W alaşımlarının üretimi için kimyasal çöktürme, plazma püskürtme ve elektrodpozisyon dahil olmak üzere çok sayıda farklı teknikler kullanılmıştır (Li vd., 2021). Bunlar arasında elektrobiriktirme, alaşımların veya metal esaslı kompozitlerin üretimi için oldukça basit, elverişli ve ekonomik bir tekniktir (Li vd., 2021; Gül vd., 2014; Gül vd., 2009). Elektrobiriktirme, doğru akım elektrobiriktirme (DEB) ve kesikli akım elektrobiriktirme (KEB) olarak sınıflandırılmaktadır. DEB ile karşılaştırıldığında, KEB tekniği ile daha ince kristalin tane yapısına ve daha homojen mikro yapıya sahip kompozitler üretilir (Gül vd., 2014). DEB ve KEB proseslerinde; kompozit kaplama işlemlerinde çözeltideki seramik partikül konsantrasyonu, metal esaslı kompozitlerin üretilmesinde, homojen bir mikroyapı eldesinde ve yüksek hassasiyete ve dirence sahip özelliklerin eldesinde etkin bir rol oynadığı ortaya konmuştur. (Gül vd., 2014; Gül vd., 2009). Bu nedenle, çözeltideki partikül konsantrasyonunun metal esaslı kompozitler üzerindeki etkisinin araştırılması potansiyel uygulama alanlarının artırılması ve ortaya çıkarılması açısından oldukça önem arz etmektedir. Sonuç olarak, son zamanlarda çok sayıda çalışma,

çözeltideki partikül konsantrasyonunun DEB veya KEB ile kaplanmış kompozitlerin mikro yapısı, mikrosertliği ve aşınma direnci üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Gül ve ark. (Gul vd., 2012), bir çalışmada SiC konsantrasyonunun DEB ile biriktirilmiş Ni-SiC kompozitlerin aşınma direnci üzerindeki etkisini araştırmış, başka bir çalışmada (Gül vd., 2014) ise KEB yönteminin Ni-Al₂O₃ kompozitinin aşınma davranışı üzerine etkisini araştırmıştır.

Si₃N₄ partikülleri, yüksek mukavemet, iyi mikrosertlik, kimyasal kararlılık ve yüksek aşınma ve korozyon performansları sağlayan inorganik nitrür seramik malzemelerdir (Liu vd., 2021). Bu üstün özelliklerinden dolayı, Si₃N₄ partikülleri, son yıllarda daha yaygın bir şekilde kompozit kaplama çalışmalarında takviye fazı olarak kullanılmıştır. Ancak, şimdiye kadar KEB teknikleri ile üretilen Ni/W-Si₃N₄ kompozitlerine Si₃N₄ konsantrasyonunun etkisi ile ilgili özellikle mikroyapı ve aşınma performansı özelliklerini inceleyen detaylı çalışma sayısı oldukça azdır.

Tüm bu sebeplerden dolayı bu çalışmada, çözeltideki Si₃N₄ konsantrasyonunun etkisi incelenen Ni/W-Si₃N₄ kompozitlerinin üretimi için KEB yöntemi ile Ni/W-Si₃N₄ kompozitleri hazırlanmış ve kompozitlerin mikro yapıları, mikrosertlikleri ve aşınma özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD), lineer (reciprocating) aşınma testleri ile incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Ni/W-Si₃N₄ kompozitleri çelik altlık üzerine kesikli akım elektrobiriktirme (KEB) tekniği ortalama tane boyut aralığı 1-5 µm olan Si₃N₄ partikülleri kullanılarak gerçekleştirildi. Ni/W-Si₃N₄ kompozitleri üretmek için kullanılan elektrolitik kaplama banyosunun bileşenleri ve kaplama koşulları Tablo 1'de verilmektedir.

Yukarıda verilen kaplama banyosu kullanılarak yapılan kaplama işlemi öncesinde altlıklar yaklaşık 2 dakika boyunca % 25'lik H₂SO₄ solüsyonunda aktive edilmiştir. Kaplama işleminde kullanılan elektrolit kaplama işlemi öncesinde sürekli olarak manyetik karıştırıcı ve ultrasonik homojenizatör yardımı ile karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ultrasonik karıştırma işlemi UP400S cihazı ile 20 KHz ve 60W'lık bir güçle gerçekleştirilmiştir. Ardından kaplama işlemine geçilmiş %50 iş çevrimi ve 10 A/dm² akım yoğunluğu koşullarında KEB tekniği kullanılarak üretimler gerçekleştirilmiştir. KEB tekniği kullanılarak gerçekleştirilen kaplamalarda çözeltideki Si₃N₄ seramik partiküllerinin konsantrasyonunun etkisi incelenmiş ve sırasıyla dört farklı konsantrasyon 5 g/L Si₃N₄, 10 g/L Si₃N₄, 15 g/L Si₃N₄ ve 20 g/L Si₃N₄ içeren Ni/W-Si₃N₄ kompozitleri başarılı bir şekilde üretilmiştir.

Si₃N₄ takviyeli kompozit kaplamaların eldesinde en önemli sorunlardan biri aglomerasyon yani topaklanma problemidir. Bu nedenle, Si₃N₄ partiküllerin kaplama tabakası içerisinden homojen dağılımını sağlamak ve yapı içerisine daha fazla partikül ilave edebilmek için, manyetik ve ultrasonik karıştırmaya ilave olarak yüzey aktif madde ilavesi de söz konusu olmuştur. Yüzey aktif madde ilavesi olarak SDS kullanılmış aynı zamanda karıştırma işlemleri yapılarak kaplama aşamasına geçilmiştir. KEB tekniği ile elde edilen Ni/W-Si₃N₄ kompozit kaplamaların yüzey morfolojisini ve mikroyapısını incelemek için taramalı elektron mikroskobu (JEOL-JSM 6060 LV) ile, faz bileşenlerini incelemek için ise, Rigaku marka D/MAX/2200/PC model X-ışını cihazı ile XRD analizi yapılmıştır. Ayrıca elde edilen Ni/W-Si₃N₄ kompozit kaplamalar sürtünme aşınma testlerine tabi tutulmuş olup, aşınma

dirençleri ve tribolojik özellikleri test edilmiştir. Ayrıca tüm kompozit kaplamaların kristalin tane boyutları scherrer formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Kristalin tane boyutu hesaplamalarında kullanılan scherrer formülü aşağıda verilmiştir (Gul vd., 2012).

λ = kullanılan X-ışınının dalga boyunu,

w = Ölçümü yapılan pikin maksimumun yarısındaki radyan cinsinden genişliğini,

θ = Bragg difraksiyon açısını, ifade etmektedir.

$$D = \frac{0,9 \lambda}{w \cos \theta}$$

Formülde;

D = Ortalama tane boyutunu,

Tablo 1. Kesikli akım elektrobiriktirme (KEB) tekniği ile Ni/W-Si₃N₄ kompozit kaplama üretiminde kullanılan banyo bileşimi ve çalışma koşulları.

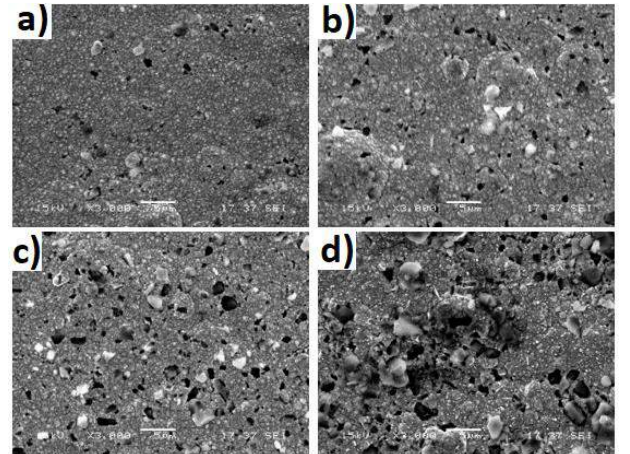
Banyo Bileşenleri ve çalışma koşulları	S1	S2	S3	S4
Nikel Sülfat (g/L) NiSO ₄ .7H ₂ O	16	16	16	16
Sodyum Tungstat (g/L) Na ₂ WO ₄ .2H ₂ O	46	46	46	46
Sodyum Sitrat (g/L) Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ .2H ₂ O	147	147	147	147
Sodyum Bromür (NaBr)	16	16	16	16
Sodyum Dodecyl Sülfat (SDS) (g/L)	0,1	0,1	0,1	0,1
Amonyum Klorür (g/L) NH ₄ Cl	25	25	25	25
Partikül Konsantrasyonu Si₃N₄ (g/L) (1-5 µm)	5	10	15	20
İş çevrimi	% 50	% 50	% 50	% 50
PH	8,5	8,5	8,5	8,5
Akım Yoğunluğu (A/dm ²)	10	10	10	10
Sıcaklık	75	75	75	75
Kaplama Süresi (saat)	1	1	1	1

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Literatürde kesikli akım elektrobiriktirme tekniği ile üretilen kompozit kaplamalar hakkında çalışmalar söz konusu olmasına rağmen, çözeltideki Si₃N₄ konsantrasyonunun etkisinin incelendiği KEB tekniği ile üretilmiş çalışmalara ait detaylı tartışma yer alan çalışma sayısı az olduğundan dolayı bu çalışma da KEB tekniği ile üretilmiş Ni/W-Si₃N₄ kompozitlerine partikül konsantrasyonunun mikroyapı ve aşınma performanslara etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Tablo 1’de de verilen banyo bileşimi kullanılarak üretilen kompozit kaplamalarda 4 farklı Si₃N₄ konsantrasyonu ile kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla 5 g/L Si₃N₄, 10g/L Si₃N₄, 15 g/L Si₃N₄ ve 20 g/L Si₃N₄ içeren Ni/W-Si₃N₄ kompozitleri tabloda da belirtildiği üzere kesikli akım kullanılarak üretilmiştir. Üretilen Ni/W- Si₃N₄ kompozitlerin mikroyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu aracılığı ile kaplama yüzey morfolojileri incelenerek gerçekleştirilmiş olup, elde edilen SEM görüntüleri şekil 1’de verilmiştir.

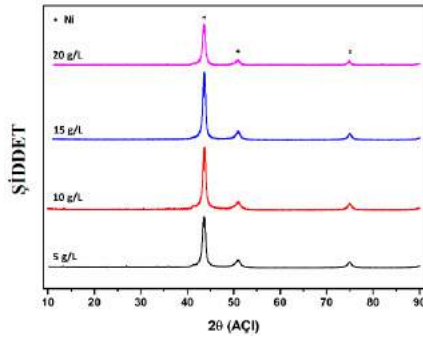
Şekil 1 incelendiğinde düşük konsantrasyonlardaki (şekil 1a) kompozit kaplamalarda Si₃N₄ seramik partiküllerinin kaplama yapısına oldukça az oranda girdiği gözlenmiştir. Artan partikül konsantrasyonu ile kaplama yapısına giren partikül miktarında artış olduğu görülmüştür. Mikroyapılar dikkatle incelendiğinde daha yüksek konsantrasyon olan 10g/L Si₃N₄ konsantrasyonunda 5g/L Si₃N₄ konsantrasyonuna göre daha fazla partikülün yapıya girdiği görülmüştür. Ancak en yüksek konsantrasyon olan 20 g/L Si₃N₄ konsantrasyonunda topaklanma/aglomerasyon problemleri ortaya çıkmıştır. En yüksek konsantrasyonda yapı içerisinde giren

partikül miktarı oldukça iyi olmasına rağmen bariz topaklanmalar görülmüştür. Bunun sebebi olarak da artan konsantrasyon ile birlikte yüzey aktif madde miktarının yetersiz gelmesine bağlı olarak aglomerasyon oluşumunun söz konusu olduğu düşünülmektedir. Literatürde de yapılan çalışmalarda benzer şekilde yüzey aktif madde miktarının yetersiz gelmesi sonucu aglomerasyon oluşumunun söz konusu olabildiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Gül vd., 2009). Ayrıca bu tür aglomerasyon-homojensizlik problemlerinin özellikler üzerindeki olumsuz etkisi de düşünüldüğünde elde edilen yapının fiziksel özellikler açısından negatif etki yaratacağı açıktır.



Şekil 1. Farklı konsantrasyonlarda Si₃N₄ içeren Ni/W-Si₃N₄ içeren kompozit kaplamalara ait yüzeylerin SEM görüntüleri a) 5 g/L Si₃N₄ b) 10 g/L Si₃N₄ c) 15 g/L Si₃N₄ d) 20 g/L Si₃N₄

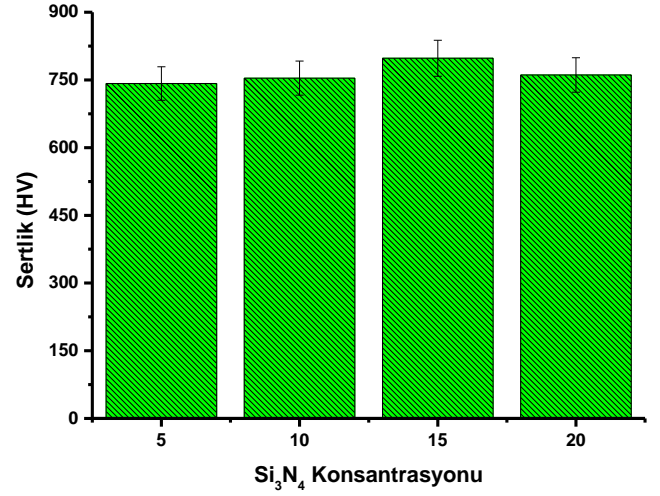
Farklı Si_3N_4 konsantrasyonunda üretilen kompozit kaplamaların faz bileşenlerini incelemek amacıyla XRD analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 2'de karşılaştırılmıştır. XRD analizleri incelendiğinde artan partikül konsantrasyonu ile yaklaşık $2\theta=43^\circ$ derecelerde yer alan nikel pikinin şiddetinin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda XRD analizleri incelendiğinde elde edilen nikel piklerinin ötelenmesi anlaşılmaktadır. Meydana gelen ötelenmenin sebebinin yapı içerisine giren seramik partiküllerin latise distorsiyona uğratması olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde seramik partikül ilavesinin latiste distorsiyona neden olduğu ve buna bağlı olarak xrd analizinde piklerde kaymalar olduğu literatür çalışmalarından da anlaşılmaktadır. Ayrıca Si_3N_4 seramik partiküllerinin varlığının xrd analizinde görülmemesinin ise ağırlıkça %5'in altından kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak xrd piklerinde meydana gelen kaymaların latisteki distorsiyondan kaynaklandığı düşünüldüğünde seramik partiküllerin yapı içerisine girmiş olduğu xrd analizinden de anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Ni/W- Si_3N_4 kompozit kaplamalara ait XRD analizi sonuçları

Şekil 3'te ise Ni/W- Si_3N_4 kompozit kaplamalara ait mikrosertlik testleri sonuçları verilmiştir. Grafik incelendiğinde artan partikül konsantrasyonu ile birlikte sertlikte artışlar meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ancak en yüksek konsantrasyon olan 20 g/L partikül konsantrasyonunda aglomerasyondan kaynaklı olarak sertlikte bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Sertlik değerlerine bakıldığında artan Si_3N_4 konsantrasyonuna bağlı olarak sırasıyla 742, 754, 798 ve 761 HV sertlik değerleri elde edildiği görülmüştür. Saf nikel kaplamanın yaklaşık 280

HV'lik bir sertliğe sahip olduğu düşünüldüğünde W ilavesi ile birlikte Si_3N_4 ilavesinin sertlik artışında önemli bir rol oynadığı anlaşılmıştır. Ayrıca seramik partikül ilavesinin matris tane boyutunun küçülmesine sebep olduğu da düşünüldüğünde sertlik artışının sebepleri daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Farklı konsantrasyonlarda Si_3N_4 içeren Ni/W- Si_3N_4 içeren kompozit kaplamalara ait mikrosertlik değerleri a) 5 g/L Si_3N_4 b) 10 g/L Si_3N_4 c) 15 g/L Si_3N_4 d) 20 g/L Si_3N_4

Tablo 2'de farklı Si_3N_4 konsantrasyonları ile üretilen Ni/W- Si_3N_4 kompozit kaplamalara ait aşınma test sonuçları ve matrisin ortalama kristalin boyutları verilmiştir. Sonuçlar kompozit kaplama işleminde artan partikül konsantrasyonunun sürtünme katsayısının azalmasına sebep olduğu anlaşılmaktadır.

Ancak aglomerasyon görülen en yüksek Si_3N_4 konsantrasyonunda (20 g/L) sürtünme katsayısının toplanmadan kaynaklı partikül-matris arayüzey bağ mukavemetinin düşmesine bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Benzer davranışın aşınma hızı verilerinde de görüldüğü kompozit kaplamalarda artan partikül konsantrasyonu ile aşınma hızı yaklaşık 1/3 oranında azalmıştır.

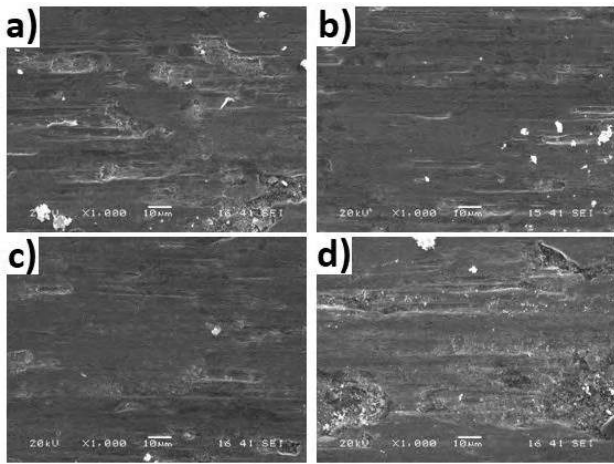
Tablo 2. Ni-W/ Si_3N_4 kompozit kaplamalara ait aşınma hızı, sürtünme katsayısı ve kristalin boyutu verileri

Numune	Sürtünme Katsayısı (m)	Aşınma hızı (mm^3/Nm)	Tane boyutu (nm)
Ni-W/ Si_3N_4 (S1)	0.72	$42 \cdot 10^{-6}$	23,76
Ni-W/ Si_3N_4 (S2)	0.64	$38 \cdot 10^{-6}$	19,12
Ni-W/ Si_3N_4 (S3)	0.45	$15 \cdot 10^{-6}$	12,14
Ni-W/ Si_3N_4 (S4)	0.59	$31 \cdot 10^{-6}$	17,38

Ortalama kristalin boyutları ise artan partikül konsantrasyonu ile yaklaşık 12.15 nm değerlerine kadar düşmüştür. Tane boyutunda meydana gelen bu azalma artan partikül konsantrasyonunun ortalama kristalin boyutunun

azalmasına sebep olması ile açıklanabilir. Literatürde de yapılan çalışmalarda artan partikül miktarının kaplama tabakasına giren partikül miktarını artırdığı ve dolayısı ile yeni çekirdekleyici bölgeler olarak davranmasıyla tane boyutunun azaldığı ifade edilmiştir (Gül vd., 2014). Bu durum aynı zamanda şekil 3'te verilen sertlik artışlarının da bir sebebi olarak görülmekte ve sertlik artış sebeplerinden biri de tane boyutunda meydana gelen azalma olarak ifade edilmektedir.

Şekil 3'te verilen sertlik değerlerinin aşınma performansına olan etkisini ve seramik partikül Si_3N_4 ilavesinin aşınma hızı ve sürtünme katsayısına etkisini ortaya koymak için aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te farklı Si_3N_4 konsantrasyonu ile üretilen Ni/W- Si_3N_4 kompozit kaplamaların aşınma testi sonrası elde edilen aşınma izi SEM yüzey görüntüleri yer almaktadır. Şekil 4 dikkatle incelendiğinde düşük partikül konsantrasyonunda abrasiv yivlerin ve delemasyonların varlığı görülmüştür.



Şekil 4. Farklı konsantrasyonlarda Si_3N_4 içeren Ni/W- Si_3N_4 içeren kompozit kaplamalara ait aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri a) 5 g/L Si_3N_4 b) 10 g/L Si_3N_4 c) 15 g/L Si_3N_4 d) 20 g/L Si_3N_4

Artan partikül konsantrasyonu ile birlikte ise daha düz bir yüzey elde edildiği ve delemasyonun oldukça azaldığı görülmüştür. En yüksek konsantrasyonda ise aglomerasyonun partikül ara yüzey bağ mukavemeti üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklı olarak abrasiv yivlerin arttığı delemasyonun söz konusu olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 2'de verilen sürtünme katsayısı ve aşınma hızı verileri de meydana gelen bozulmayı destekleyen sonuçlar olarak ortaya çıkmıştır. Artan sürtünme katsayısı ve aşınma direncindeki düşüş şekil 4c'de verilen aşınma izi görüntüsünü desteklemektedir.

4. Sonuç

Ni-W/ Si_3N_4 kompozit kaplamaları kesikli akım elektrobirikirme (KEB) tekniği ile başarılı bir şekilde üretilmiştir. Elde edilen kompozit kaplamaların özelliklerine ait sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Dört farklı Si_3N_4 seramik partikülleri içeren kaplamalarda yüzey görüntüleri incelendiğinde optimum konsantrasyon değerinin 15 g/L olduğu SEM yüzey görüntülerinden anlaşılmaktadır. Homojenlik ve partikül miktarı açısından en iyi yüzey görüntüsü 15 g/L partikül

konsantrasyonu kullanılarak üretilen kompozit kaplamadan elde edilmiştir.

- Üretilen kompozit kaplamaların faz durumları XRD analizi ile değerlendirilmiş ve tüm kompozitlerin başarılı bir şekilde üretildiği ve kompozit kaplamalar ile XRD analizinde nikel piklerinde kaymalar/ötelenmeler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca XRD analizlerinden scherrer formülü ile ortalama kristalin tane boyutları hesaplanmış ve 15 g/L Si_3N_4 seramik partikülleri içeren kaplamaların 12,14 nm ile en düşük tane boyutuna sahip olduğu tespit edilmiştir.

- KEB tekniği kullanılarak yapılan üretimler sonucu yapılan sertlik ölçümlerinde sertlik değerlerinin nikel kaplamaların sertliği olan yaklaşık 280 HV'lik sertlik değerlerinden yaklaşık 800 HV'lik sertlik değerlerine çıktığı belirlenmiştir. En yüksek sertlik değeri de 15 g/L Si_3N_4 partikülleri içeren kompozit kaplamadan ölçülmüştür.

- Tüm kompozit kaplamalar aşınma performansları açısından değerlendirilmiş ve sürtünme katsayıları ile aşınma hızları karşılaştırılmıştır. Sürtünme katsayısının artan partikül miktarı ile birlikte 0,45 m değerine kadar azaldığı ve benzer şekilde aşınma hızı değerlerinin de 1/3 oranında azalarak $45 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değerinden $15 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değerlerine gerilediği gözlenmiştir.

Kaynakça

- Allahyarzadeh M., Aliofkhaezrai M., Rouhaghdam A.S., Torabinejad V. (2016). Electrodeposition of Ni-W- Al_2O_3 nanocomposite coating with functionally graded microstructure, J. Alloys Compd. 666, 217–226.
- Brenner A. (1963). Electrodeposition of tungsten alloys containing cobalt, nickel, and/or iron A. Brenner (Ed.), Electrodeposition of Alloys, Academic Press, New York, 347-412.
- Cardinal M.F., Castro P.A., Baxi J., Liang H., Williams F.J. (2009). Characterization and frictional behavior of nanostructured Ni-W-MoS₂ composite coatings, Surf. Coat. Technol, 204,85-90.
- Goldasteh H., Rastegari S. (2014). The influence of pulse plating parameters on structure and properties of Ni-W-TiO₂ nanocomposite coatings, Surf. Coat. Technol, 259 393-400.
- Gül H., Kılıç F., Aslan S., Alp A., (2009). Akbulut H. Characteristics of electro-co-deposited Ni- Al_2O_3 nanoparticle reinforced metal matrix composite (MMC) coatings', Wear, 267, 976-990.
- Gul H., Kılıç F., Uysal M., Aslan S., Aalp A. Akbulut H. (2012). Effect of particle concentration on the structure and tribological properties of submicron particle SiC reinforced Ni metal matrix composite (MMC) coatings produced by electrodeposition, App. Surf. Sci, 258, 4260-4267.
- Gül H., Uysal M., Akbulut H., Alp A. (2014). Effect of PC electrodeposition on the structure and tribological behavior of Ni- Al_2O_3 nanocomposite coatings, surf and coat. Tech. 258, 1202-1211.
- Gyawali G., Joshi B., Tripathi K., Lee S. W. (2016). Preparation of Ni-W- Si_3N_4 composite coatings and evaluation of their scratch resistance properties, Ceram. Inter, 42, 3497-3503.
- Han B., Lu X. (2009). Effect of La₂O₃ on microstructure, mechanical and tribological properties of Ni-W coatings Chin. Sci. Bull. 54, 4566-4570.

- Indyka P., Beltowska-Lehman E., Tarkowski L., Bigos A., García-Lecina E. (2014). Structure characterization of nanocrystalline Ni–W alloys obtained by electrodeposition, *J. Alloy. Compd.* 590, 75-79.
- Li B., Zhang W. (2018). Microstructural, surface and electrochemical properties of pulse electrodeposited Ni–W/Si₃N₄ nanocomposite coating, *Ceram. Inter.* 44, 19907-19918.
- Li B., Zhang W., Mei T., Du S., Li D., Miao Y. (2020). Influence of zirconia and ceria nanoparticles on structure and properties of electrodeposited Ni-W nanocomposites, *Compos. Struct.* 235, 1-10.
- Li H., He Y., Luo P., Fan Y., Yu H., Wang Y., He T., Li Z., Zhang H. I. (2021). Influence of pulse frequency on corrosion resistance and mechanical properties of Ni–W/B₄C composite coatings, *Coll. and Surf. A: Physico. and Eng. Asp.* 629, 1-15.
- Liu H., Wang H., Yu W., He Y., Xia F., Ma C., Shakoor A. (2021). Effect of TiN concentration on microstructure and properties of Ni/W–TiN composites obtained by pulse current electrodeposition, *Ceram. Inter.* 47, 24331-24339.
- Xia F., Li C., Ma C., Li Q., Xing H. (2021). Effect of pulse current density on microstructure and wear property of Ni-TiN nanocoatings deposited via pulse electrodeposition, *App. Surf. Sci.* 538, 1-9.
- Xia F., Li Q., Ma C., Zhao D., Ma Z. (2020). Design and properties of Ni-TiN/SiC nanocoatings prepared by pulse current electrodeposition, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 15, 1813-1829.
- Yao Y., Yao S., Zhang L., Wang H. (2007). Electrodeposition and mechanical and corrosion resistance properties of Ni–W/SiC nanocomposite coatings, *Mater. Lett.* 61, 67-70.



Elektrik Akımı Destekli Sinterleme Yöntemi İle Üretilen Stellite 21 Süperalaşımının Sıcak Korozyon Özellikleri

Nuri Ergin^{1*}, Özkan Özdemir², Ahmet Yiğit Özer³

^{1*} Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9025-9419), nergin@subu.edu.tr

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2366-8196), oozdemir@subu.edu.tr

³ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4336-2314), y145047006@subu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013395)

ATIF/REFERENCE: Ergin, N., Özdemir, Ö. & Özer, A. Y. (2021). Elektrik Akımı Destekli Sinterleme Yöntemi İle Üretilen Stellite 21 Süperalaşımının Sıcak Korozyon Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1185-1189.

Öz

Bu çalışmada Stellite 21 süper alaşımı, uygun kompozisyonda hazırlanarak homojen karıştırma sonrası elde edilen toz karışım kullanılmak suretiyle, elektrik akımı destekli sinterleme yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra numunelerin sertlik, mukavemet ve yüksek sıcaklık özellikleri gibi özelliklerini geliştirmek için ısıtma işlemi uygulanmıştır. Üretilen malzemenin; mikroyapı görüntüleri taramalı elektron mikroskopuyla; faz analizleri, x-ışınları difraksiyon analizi ve elementel analiz incelemesi yöntemiyle belirlenmiştir. Ayrıca korozyon özellikleri sıcak korozyon çalışmaları ile tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süper Alaşım, Stellite 21, Elektrik Akımı Destekli Sinterleme.

Hot Corrosion Properties of Stellite 21 Super Alloy Produced By Electric Current Assisted Sintering

Abstract

In this study, Stellite 21 alloy is produced with a resistance sintering method by using powder obtained from homogeneous mixing with appropriate composition. Then, the sample was exposed to heat treatment in order to improve the properties of the Stellite 21 super alloy such as strength, hardness and its high temperature properties. Microstructure images of the produced material were determined by scanning electron microscope, their phase analyses with x-ray diffraction analysis and elemental analysis methods. Also, corrosion qualities were determined by hot corrosion practices..

Keywords: Superalloy, Stellite 21, Electric Current Activated Sintering.

* Sorumlu Yazar: nergin@subu.edu.tr

1. Giriş

Süper alaşımlar; yüksek sıcaklıklarda kararlılığını koruyabilen, mükemmel oksidasyon, korozyon ve sürünme direnci sergileyen, ergime sıcaklığının 0.8 katına kadar kullanılabilen, metalurjik olarak demir, nikel veya kobalt matrisinden oluşup, matris içerisinde karbür veya intermetalik fazlar ve düşük miktarda alaşım elementleri içeren yüksek sıcaklık malzemeleridir (Çay ve Ozan, 2005; Bernardo, Eberle ve Ristow, 2008; Chen ve Liao, 2003). Bu malzemeler; seramik malzemelerin gevrek karakterlerinden kaynaklanan düşük tokluk özelliklerini, metalik malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki düşük oksidasyon ve düşük mukavemet özelliklerini iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu malzeme grubu içerisinde kobalt içeriği ile ön planda olan alaşımlar yani kobalt esaslı süperalaşımlar, yüksek sıcaklıklardaki statik gerilmeler altında göstermiş oldukları yüksek mukavim özellikleri ile yüksek sıcaklık yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kobalt esaslı süperalaşımların tercih edilme sebebi, diğer süperalaşımlarla karşılaştırıldığında daha yüksek ergime derecesine sahip olması, dolayısıyla yüksek sıcaklık mekanik özelliklerinin daha iyi olması ve ihtiva ettiği yüksek krom içeriği sayesinde mükemmel sıcak korozyon dayanımı sergilemesidir (Reed, 2006).

Kobalt esaslı süperalaşımların bir türü olan Stellite 21 alaşımları mekanik ve tribolojik özelliklerin kombinasyonunu hem yüksek sıcaklıklarda hem de oda sıcaklığında sağlamakta olup, mükemmel oksidasyon ve korozyon özellikleri sergilemektedir. Stellite 21 süperalaşımının özelliklerini kobaltın düşük istiflenme enerjisi ve sert karbürler önemli ölçüde etkilemektedir. Mo, W ve Cr gibi katı eriyik oluşturu elementler mukavemetin artmasına katkı sağlarken, karbür çökeltileri ana güçlendirme mekanizmasını oluşturmaktadır. Stellite 21 süperalaşımları sahip oldukları özellikleri sayesinde gaz türbinlerinin yüksek sıcaklığa maruz kalan kısımlarında, nükleer reaktörlerde, türbin kanatları, yanma odaları, afterburner parçalarında, fırın muffle ve yüksek sıcaklık fırınlarında kritik nokta gömleklerinde ve endüstriyel fırınlar gibi çeşitli uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır (Radu, Li ve Llewellyn, 2004).

Süperalaşımların üretiminde genel olarak ergitme-döküm yöntemleri tercih edilmesine rağmen son yıllarda toz metalürjisi teknikleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Geleneksel toz metalürjisi yöntemlerinden daha ziyade spark plazma sinterlemesi (SPS), plazma aktivasyon sinterlemesi (PAS) gibi alternatif teknikler tercih edilmektedir. Bu alternatif toz metalürjisi tekniklerinden biri de elektrik akım destekli sinterleme yöntemi (ECAS) olup; kısa işlem süresinde, düşük sinterleme sıcaklığında ve daha yüksek ısıtma hızında sinter bağları oluşturmayı sağlayan yeni bir sentezleme yaklaşımıdır. Sinterleme işlemi, şekillendirme işlemi yapılmadan kalıp içine alınan toz karışım veya ön şekillendirme işlemi gerçekleştirilip tablet haline getirilmiş numuneler üzerinden elektrik akımının geçirilmesiyle oluşan Joule etkisinden yararlanılarak yapılmaktadır (Grasso, Sakka ve Maizza, 2009).

Bu çalışmada, Stellite 21 süperalaşımı elektrik akım destekli sinterleme yöntemi (ECAS) ile üretilmiş, üretim sonrası ısıtma işlemi uygulanarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile mikroyapısı, XRD analizi ile faz yapısı ve sıcak korozyon çalışmaları ile korozyon özellikleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Stellite 21 süperalaşımının üretiminde başlangıç malzemesi olarak Ni (%99.8 saflık, 3-7 µm), Fe (%99 saflık, 6-8 µm), Cr (%99.8 saflık, 1-5 µm), Co (%99.95 saflık, 3-7 µm), Mn (%99.6 saflık, <10 µm) ve Si (%99.9 saflık, 1-5 µm) tozları kullanılmıştır. Elementel tozlardan stokiometrik bileşim oranına göre hazırlanan toz karışım gezegensel bilyalı değirmende toz/ağırlık oranı 1:20 olacak şekilde, 30 dakika süre ve 600 rpm hızda homojen olarak karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımın ön şekillendirme işleminin gerçekleştirilmesi ve elektrik akımının numune üzerinden geçirilmesi için üretim öncesi nihai şekli belirlenen numunelere uygun olarak hazırlanan kalıplar yüzey pürüzlülüğü minimuma indirgenerek bor nitrür yağlayıcılar ile yağlanmıştır. Tek eksenli hidrolik pres kullanılarak 200 MPa basınç altında şekillendirme işlemi yapılan numuneler kalıp içerisinden çıkarılmadan 100-4580 amper aralığında 7 dakikada ECAS tekniği kullanılarak üretilmiştir. Proses süresince akım tipi olarak tam doğrultulmuş DC kullanılmış ve işlem sonunda 20 mm çap ve 5 mm yüksekliğe sahip numuneler elde edilmiştir.

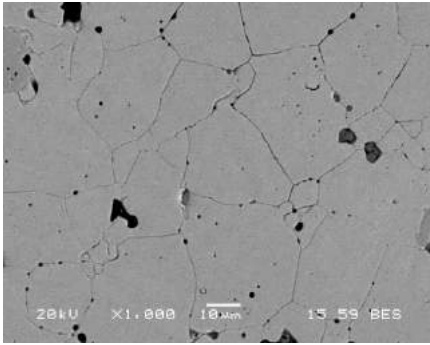
Üretimi gerçekleştirilen Stellite 21 süperalaşımının mekanik özelliklerini geliştirmek, dolayısıyla optimum özelliklere ulaşmak amacıyla numuneler birkaç adımdan meydana gelen ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Numuneler öncelikle 1200°C sıcaklıkta 4 saat fırında bekletilmiş ve bu süre sonunda suda soğutulmuştur. Daha sonra yaşlandırma işlemi gerçekleştirmek amacıyla 815°C'de 4 saat ve akabinde 715°C'de 30 dakika fırında bekletilmiş ve %10 oranında şekil değişimi olana kadar sıcak dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilip ısıtma işlemi yapılan numuneler, standart numune hazırlama yöntemlerine uygun olarak 2500 gridlik zımpara seviyesine kadar zımparalanmış ve 0,3 µm alümina ile parlatılmıştır. Mikroyapıların açığa çıkması için yapılan dağlama işlemi Marbles reaktifi (50 ml su, 50 ml HCl, 10 gr CuSO₄) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin mikroyapı ve faz analizleri sonrası sıcak korozyon özelliklerini belirlemek amacıyla Stellite 21 süper alaşımının kullanım alanları da göz önünde bulundurularak bu alaşımların servis şartları simule edilip %60V₂O₅, %40Na₂SO₄ ve %90Na₂SO₄,%5V₂O₅, %5NaCl iki farklı korozif tuz ortamındaki korozyon davranışları incelenmiştir. Bu korozif tuz karışım içerisinde gömülen numuneler 15°C/dk ısıtma hızında 550,600 ve 650°C sıcaklıklara kadar ısıtılmış 12, 36 ve 60 saat süreyle açık atmosferli kül fırında bekletildikten sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra numune yüzeyinde çöken tuz kalıntılarını uzaklaştırmak için saf su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Korozyon hızı, ağırlık değişiminin yüzey alanına oranı esas alınarak kütle kaybından hesaplanmıştır. Numunelerin ağırlık ölçümleri 0,00001 hassasiyete sahip elektronik terazi ile gerçekleştirilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

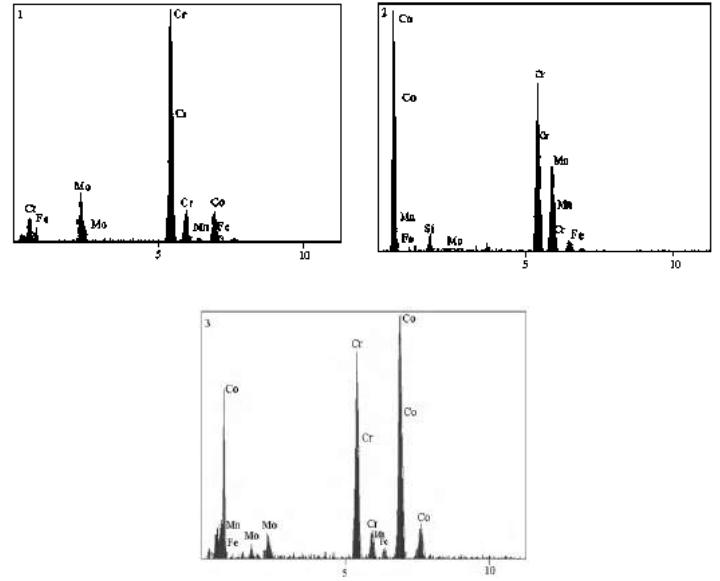
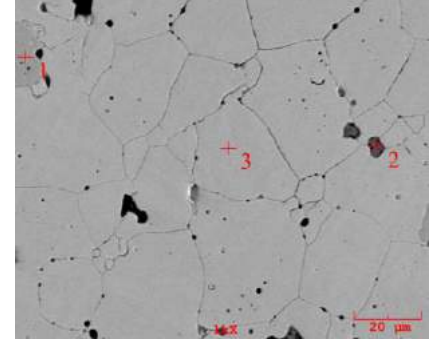
Stokiometrik bileşim oranına göre hazırlanan toz karışım 200 MPa basınç altında, 100-4580A akım aralığında 7 dakika sabit sürede bekletilerek elektrik akımı destekli sinterleme yöntemi ile üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin özelliklerini iyileştirmek amacıyla termal ve mekanik işlemlerden oluşan kompleks bir ısıtma işlemi prosesi uygulanmıştır. Nihai ürün olarak değerlendirilen numuneler Marbles reaktifi ile dağlanmış ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Mikroyapı incelemeleri SEM analizi ile yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 1’de verilmiştir. Voort, Manilova ve Lucas (2004), süper alaşımların genel itibari ile metalografik olarak hazırlanmasının oldukça güç olduğunu, ihtiva ettiği karbürler ve intermetalik fazlar sebebiyle kesme, zımparalama ve parlatma işlemleri esnasında yüzeyde derin çizikler oluşacağını vurgulamışlardır. Ayrıca yüksek korozyon direncine sahip olan süperalaşımların dağlama işleminin dakikalar mertebesinde sürmesi bölgesel olarak aşırı yanmaların gerçekleşmesi nedeniyle sağlıklı bir dağlamanın yapılamayacağı bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada standart numune hazırlama işlemleri ile yüzey açığa çıkarılmış, Marbles reaktifi ile dağlama işlemi sorunsuz olarak gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla birçok çalışmada olduğu gibi kırık yüzey incelemesine gerek duyulmamıştır. Numunenin faz incelemelerinden belirlenen üretim şartlarında faz dönüşümünün tamamlandığı, homojen ve porozitesiz oldukça yüksek yoğunluklu bir yapının elde edildiği görülmektedir.



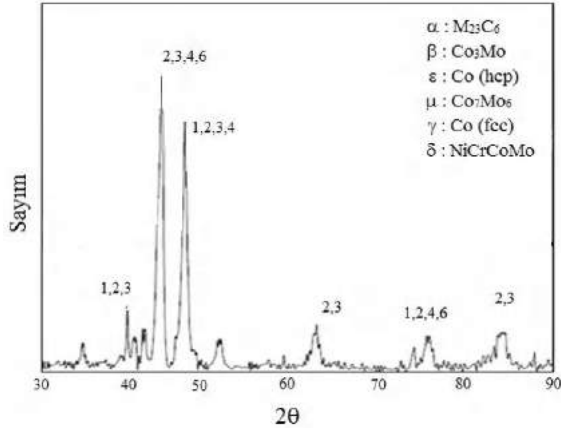
Şekil 1. Üretilip ısıtıl işlemi gerçekleştirilmiş numunenin SEM görüntüsü (Dağlayıcı: Marbles reaktifi)

Üretilip, ısıtıl işlemi gerçekleştirilen numunelerin faz dağılımlarının belirlenmesi ve içeriğinde bulunup malzemeye belirli özellik katan elementlerin mikroyapı içindeki dağılımlarının tespit edilmesi için SEM noktasal elementel analiz incelemesi yapılmıştır. SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Stellite 21 numunesinin 3 farklı bölgesinden alınan EDS sonuçlarına göre matris yapısının Co ağırlıklı olduğu, yapı içerisindeki kimyasal kompozisyona uygun olarak bazı bölgelerde Cr içeriğinin yoğun olup; Mo, Fe, Mn ve Si içerikleri tespit edilmiştir. Stellite 21 süper alaşımının içeriğine bakıldığında %60,25 Co, %27 Cr, %5.5 Mo, %2 Ni, %3 Fe, %0.25 C, %1 Mn ve Si oluşmaktadır. Dolayısıyla EDS analizlerinden genel olarak hedeflenen kimyasal kompozisyona ulaşıldığı belirlenmiştir.



Şekil 2. Üretilip ısıtıl işlemi gerçekleştirilmiş numunenin SEM-EDS analizi

Üretimi gerçekleştirilen ve ısıtıl işlemi yapılan Stellite 21 numunesinde oluşan fazları tespit etmek amacıyla x-ışınları difraksiyon analizi yapılmış ve XRD paternleri Şekil 3’de verilmiştir. Numunelerin XRD paternlerinden α : M23C6, β : Co3Mo, ϵ : Co (hcp), μ : Co7Mo6, γ : Co (fcc), δ : NiCrCoMo fazları tespit edilmiştir. Aslan (2019), Stellite 6 ve 12 süperalaşımlarının kayma aşınması davranışlarını incelemiş ve yapmış olduğu çalışmada elde ettiği fazlar ile bu çalışmada tespit edilen fazların benzer olduğu görülmüştür. Motallebzadeh (2015), Alaşımli ve Karbür Takviyeli Stellite 12 Süperalaşımını kaplama malzemesi olarak kullanmış ve yüksek sıcaklıkta aşınma performansını değerlendirmiştir. Bu çalışmada rapor edilen XRD paternleri de yapmış olduğumuz çalışmayı destekler niteliktedir. Wu vd. (2019), yaşlanma işlemi süresince Stellite/Çelik sert dolgu ara yüzeyinin termal kararlılığını incelemiş ve Rong, Jianhua, Qunli, Matthew ve Rachel (2015), düşük karbonlu Stellite alaşımlarının aşınma ve korozyon davranışları üzerine molibdenin etkisini araştırmışlardır. Birbirinden farklı olarak gerçekleştirilen her iki çalışmanın da XRD sonuçlarından benzer faz yapılarının belirlendiği görülmüştür. Dolayısıyla elde edilen XRD paternlerinin literatürle uyumlu olduğu söylenebilir.

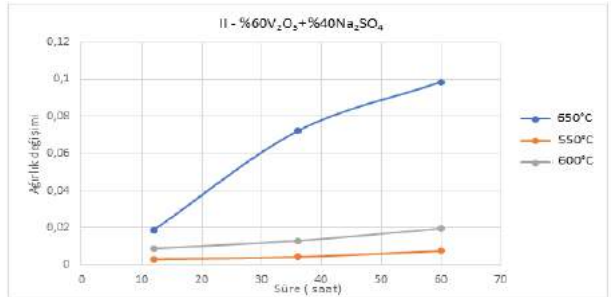
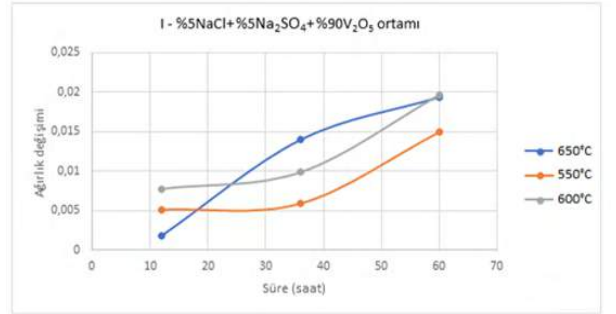


Şekil 3. Numunelerin ısıtılma sonrası elde edilen XRD paternleri

Stellite 21 süperalaşımı genel itibarı ile nükleer endüstri için aday malzemeler olarak değerlendirilmesine rağmen, günümüzde kağıt imalatı, petrol işleme, ilaç endüstrisi, havacılık, kimya sektörü gibi farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır (Reed, 2006). Stellite 21 süperalaşımının kullanıldığı bir diğer alan da jet motorlarının yapısal kısımlarının imalatıdır. Jet motorları emilen havanın sıkıştırılması, sonrasında yanma odasında yakıt ile karıştırılarak yakılması ve burada elde edilen yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazların türbinler vasıtasıyla mekanik güce dönüştürülmesi ile çalışmaktadır (Torak, 2007). Dolayısıyla servis şartlarına bağlı olarak türbin motorlarının yakıtlarında bulunan Na, S ve V gibi saflığı bozan empüriler düşük sıcaklıklarda eriyerek Na_2SO_4 ve V_2O_5 tuzlarını oluşturmak suretiyle sıcak korozyon için kuvvetli bir korozif ortam meydana getirmektedir (Habı, 2014). Bu çalışmada, jet türbin motorlarının yapımında kullanılacak planlanan Stellite 21 numunesinin sıcak korozyon davranışlarını belirlemek amacıyla jet motorlarının çalışma şartları simüle edilerek iki farklı korozif ortam (I. ortam %60 V_2O_5 , %40 Na_2SO_4 ve II. ortam %90 Na_2SO_4 , %5 V_2O_5 , %5 NaCl) hazırlanmıştır. Stellite 21 süper alaşımının sıcak korozyon deneyleri 550, 600 ve 650°C’de 12, 36 ve 60 saat 15°C/dk ısıtma hızında açık atmosferli kül fırın içerisinde gerçekleştirilmiştir.

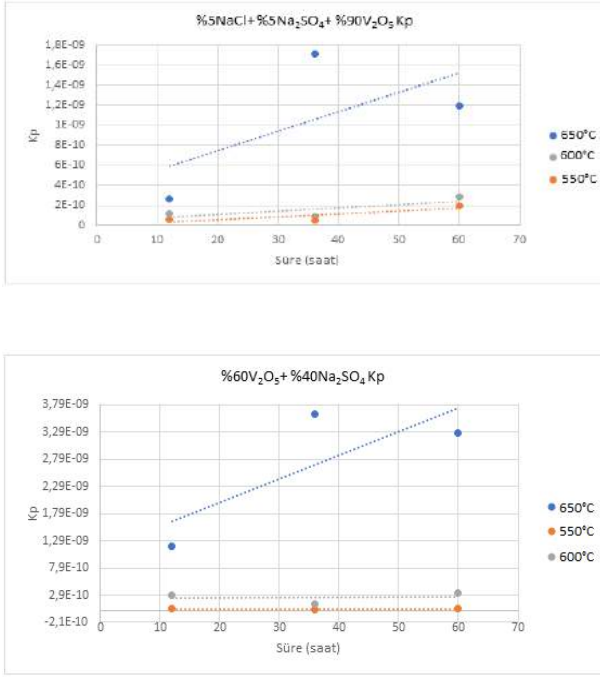
Bir metalin oksijene afinitesi, oksidin oluşması ile ortaya çıkan serbest enerjisindeki azalma ile belirlenmektedir. Dolayısıyla serbest enerji değeri negatif olan metal daha önce oksitlenmektedir. Chen vd. (2019), Stellite 21 süper alaşımının ana elementleri olan Co, Cr ve Mo’ın 700°C’de standart serbest enerji değerlerini sırasıyla yaklaşık olarak -330, -580, -500 kJ/mol olduğunu tespit etmişler ve serbest enerjisi negatif olan Cr’un oksit oluşturma eğilimi alaşımdaki diğer elementlere göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Oluşan oksit tabakasının koruyucu özellikte olup olmadığı tespit edilirken Pilling-Bedworth oranının veya metal oksit hacim oranının etkili olduğunu işaret etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada 650°C’de malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasında dökümler gözlemlenmiş ve burada oksitler, difüzyon kontrolünde olduğundan parabolik olarak büyüdüğünü bildirmişlerdir. Necina ve Pabst (2019), çoğunlukla metal iyonlarının yarıçaplarının oksijen iyonunun yarıçapından daha küçük olması sebebiyle metal iyonlarının dışa yayılımının daha hızlı olduğunu belirlemişlerdir. Orru, Gullion ve Chaim (2018), ise Stellite 21 süperalaşımında Cr

iyonunun (+3) yarıçapı 0,63Å, Co iyonunun (+3) yarıçapı 0,72Å, Fe (II) iyonunun yarıçapı 0,74Å ve O iyonunun (+2) yarıçapı 1,32Å olduğunu tespit etmişlerdir. Değerler göz önüne alındığında Cr iyonu oksijene kıyasla daha hızlı dışa doğru difüze olacağını bildirmişlerdir. Bu çalışmada, Stellite 21 süper alaşımının kullanım alanları da göz önünde bulundurularak %60 V_2O_5 , %40 Na_2SO_4 ve %90 Na_2SO_4 , %5 V_2O_5 , %5 NaCl iki farklı korozif tuz ortamındaki korozyon davranışları incelenmiştir. Yüksek sıcaklık korozyonu 4 aşamadan oluşmakta olup ilk aşamada oksit tabakasının bir miktar büyümesi ve ardından bölgesel olarak gerçekleşen parçalanmalardan dolayı malzeme yüzeyinde pürüzlülükler olması beklenmektedir. İkinci aşamada oksit tabakasının parçalanmasının devam etmesiyle Cr tüketimi başlamış olup, üçüncü aşamada Cr miktarı minimum seviyelere gelmiştir. Oldukça azalan Cr elementi gözenekli bir yapı oluşturmaktadır. Son aşamada ise dökümler ile birlikte malzemedeki kayıplar ortaya çıkmaktadır (Salehnasab, Poursaeidi, Mortazavi ve Forkhian, 2016).



Şekil 4. Stellite 21 süper alaşımının süre ve sıcaklığa bağlı ağırlık değişimleri (g/mm^2)

Numunelerin ağırlık değişimindeki artışın sıcaklık ve sürenin artışıyla birlikte arttığı ve tüm sıcaklıklarda sıcak korozyona maruz kalmış numunelerde herhangi bir dökülmenin olmadığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık ve sürenin artışı ile beraber numunelerdeki ağırlıkların parabolik değişime uygun olarak değiştiği görülmüştür. Her iki korozif ortamda da yapılan sıcak korozyon çalışmaları sonrası Stellite 21 alaşımının parabolik hız sabiti değerlerinden elde edilen grafikler şekil 5’de verilmiştir. Parabolik hız sabiti ile malzemenin korozyon dayanımı arasında ters orantı olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{V}_2\text{O}_5$ ortamında stellite 21’in 650°C’deki korozyon davranışı en kötüsüdür. 550°C’deki korozyon davranışı ise en iyidir. $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{V}_2\text{O}_5$ ortamında yine 650°C’de korozyon davranışı en kötüyken, 550°C’de korozyon davranışı en iyi durumdadır.



Şekil 5. Stellite 21 parabolik hız sabitlerine ait grafikler

4. Sonuç

Bu çalışmada, Stellite 21 süper alaşımını meydana getiren elementel tozlar 600 rpm hızda 6 saat süreyle karıştırıldıktan sonra 200MPa basınç, 0-4580A akımda 7 dakikada elektrik akımı destekli sinterleme yöntemiyle üretilmiştir. Üretim sonrası mekanik özelliklerin geliştirilmesi amacıyla yaşlandırma ve sıcak dövme ısıl işlemleri uygulanmıştır. Yapılan faz analizlerinden α , β , γ ve ϵ fazları tespit edilirken M23C6 faz piki de XRD paternlerinde gözlemlenmiştir. Numunelerin korozyon davranışlarını belirlemek için I. ortam %5NaCl+ %5Na₂SO₄+ %90V₂O₅ II. ortam %60 V₂O₅ + %40 Na₂SO₄ iki farklı ortamda 12, 36 ve 60 saat sürede sıcak korozyon çalışmaları yapılmıştır. Bu ortamlarda yapılan sıcak korozyon sonrasında Stellite 21' e ait parabolik hız sabitleri(K_p) I. ortamda sırasıyla; 550°C' de $36,1 \times 10^{-9} \text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{s}^{-2}$; 600°C' de $36,51 \times 10^{-11} \text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{s}^{-2}$; 650°C' de $37,5 \times 10^{-9} \text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{s}^{-2}$ dir. II. ortamda ise; 550°C' de $36,3 \times 10^{-9} \text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{s}^{-2}$; 600°C' de $36,12 \times 10^{-10} \text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{s}^{-2}$; 650°C' de $36,1 \times 10^{-10} \text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{s}^{-2}$ olarak tespit edilmiştir.

Kaynakça

- Aslan, O. (2019). Stellite 6 ve stellite 21 alaşımlarının darbeli kayma aşınma performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bernardo N., Eberle T., Ristow W. (2008) MIM processing and plasma sintering of nickel base superalloys for aerospace and automotive applications. Powder Metallurgy, 51, 2-107.
- Chen, C., Liang, T., Gao Y., Chen, X., Man, Q., Zhang X., Zeng, J. Ji, V. (2019). Effect of scandia content on the hot corrosion behavior of Sc₂O₃ and Y₂O₃ co-doped ZrO₂ in Na₂SO₄ + V₂O₅ molten salts at 1000 °C. Corrosion Science, 158.
- Chen Y.C. ve Liao Y.S. (2003). Study on wear mechanisms in drilling of Inconel 718 superalloy. Journal of Materials Processing Technology, 140, 269-273.
- Çay V. ve Ozan Ş. (2005). Süper alaşımlar ve Uygulama Alanları, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları. e-ISSN: 2148-2683

Habıbbı, M.H. (2014). Hot corrosion behaviour of new candidates for thermal barrier coatings application in turbine simulated environments. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Doktora Tezi.

I. Radu, D.Y. Li, R. Llewellyn. (2004). Tribological Behavior of Stellite 21 Modified with Yttrium. Wear, 257, 1154–1166.

Mottalebzadeh, A. (2015). High temperature wear performance of alloyed an carbide reinforced stellite 21 coatings. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Necina, V., Pabst, W. (2019). Reduction of temperature gradient and carbon contamination in electric current assisted sintering (ECAS/SPS) using a “saw-tooth” heating Schedule. Ceramics International, 45.

Orru et al., 2009; Gullion et al., 2014; Chaim et al., 2018.

Reed R. C. (2006). The Superalloys Fundamentals and Applications. Cambridge University Press.

Rong, L. (2015) Jianhua Y., Qunli Z., Matthew X., Rachel C., Effects of molybdenum content on the wear/erosion and corrosion performance of low-carbon stellite alloys. Materials and Design, 78, 95-106.

Salehnasab B., Poursaeıdı E., Mortazavı S.A., Forkhıan G.H., (2016) Hot corrosion failure in the first stage nozzle of a gas turbine engine. Engineering Failure Analysis 60.316-325.

Salvatore Grasso, Yoshio Sakka and Giovanni Maizza, 2009, Electric current activated/assisted sintering (ECAS): a review of patents 1906–2008. Science And Technology Of Advancedmaterials.

Torak, S. (2007). Gaz Türbin Kanatlarının Soğutulmasının Önemi ve Soğutma Yöntemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Voort G.F.V., Manılova E.P., Lucas G.M. (2004), Metallographic Techniques for Superalloys. Microscopy and Microanalysis. 1-22.

Yuxiao W., Etienne B., Thomas S., Nabil T., Fadila K., Rejean R., Jolanta S., Myriam B. (2019). Thermal stability of a stellite/steel hardfacing interface during long-term aging. Materials Characterization, 154, 181-192.



Performance Analysis of Steepest Descent-Line Search Condition Combinations in Nonlinear Least Squares Fitting of CMM Data

Kadir Kiran ^{*,1,2}

¹Department of Airframe and Power Plant Maintenance, School of Civil Aviation, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6109-435X), kadirkiran@sdu.edu.tr

²Design and Manufacturing Technologies Research Laboratory, Innovative Technologies Application and Research Center, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012096)

ATIF/REFERENCE: Kiran, K. (2021). Performance Analysis of Steepest Descent-Line Search Condition Combinations in Nonlinear Least Squares Fitting of CMM Data. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1190-1196.

Abstract

This paper presents a benchmarking study on the steepest descent (SD) method considering three different line search conditions including Backtracking (BC), Armijo-Backtracking (ABC) and Goldstein (GC) in nonlinear least squares fitting of measured data obtained from coordinate measuring machine (CMM). Within this scope, five primitive geometries such as circle, square, rectangle, triangle and ellipse were built via 3D printer. Those geometries were then scanned with CMM to acquire their 2D profiles to be fitted. To find best fitting parameters for each geometry, the nonlinear least squares approach along with the above-mentioned optimization method-line search condition combinations were employed. During the fitting process, the total number of function evaluations, when the combination converges to required tolerance, were used as a performance metric of the combination in question. With those data, the performance and data profiles for each combination were created to be able to carry out a reliable performance evaluation. Based on those profiles, it has been seen that the SD-ABC combination is the fastest one. In addition, it is successful on all the geometries while the others are not. For the second fastest combination, the SD-BC combination stands out. However, its successful rate is only 80%, which means it fails on a geometry. On the other hand, the SD-GC combination takes the last place in this study. All those results have shown that the line search conditions have a great contribution to the success and performance of the optimization algorithm being used. Besides, their performance may differ from problem-to-problem. The end-users should consider these facts to find best optimization method-line search condition combination for their problems.

Keywords: steepest descent method, line search condition, performance profiles, data profiles, nonlinear least squares fitting, optimization.

Koordinat Ölçme Makinesi Verilerinin Doğrusal Olmayan En Küçük Kareler Uydurulmasında En Dik İniş-Doğru Boyunca Arama Şartı Kombinasyonlarının Performans Analizi

Öz

Bu makale koordinat ölçme makinesinden (KÖM) elde edilen verilerin doğrusal olmayan en küçük kareler uydurulmasında Backtracking (BC), Armijo-Backtracking (ABC) ve Goldstein (GC) içeren üç farklı doğru boyunca arama şartlarını dikkate alarak en dik iniş (EDİ) yöntemi üzerine bir kıyaslama çalışması sunmaktadır. Bu kapsamda, daire, kare, dikdörtgen, üçgen ve elips şekillerindeki beş temel geometri 3B yazıcı ile imal edildi. Daha sonra bu geometrilerin uydurulacak 2B profillerini elde etmek için adı geçen geometriler KÖM ile tarandı. Her bir geometriye en iyi uydurma parametresini bulmak için, doğrusal olmayan en küçük kareler yaklaşımı yukarıda bahsedilen optimizasyon yöntemi-doğru boyunca arama şartı kombinasyonları ile birlikte kullanıldı. Uydurma süreci boyunca ilgili kombinasyon istenilen tolerans değerine yakınsadığında ortaya çıkan toplam fonksiyon değerlendirme sayısı kullanılan kombinasyonun bir performans metriği olarak dikkate alındı. Güvenilir bir performans analizi yapabilmek amacıyla bu veriler ile, her bir kombinasyon için performans ve veri profilleri oluşturuldu. Adı geçen profillere dayanarak EDİ-ABC kombinasyonunun en hızlı olduğu görüldü. Ek olarak bu kombinasyon diğer kombinasyonların aksine tüm geometrilerde başarılıdır. İkinci en hızlı kombinasyon için EDİ-BC kombinasyonu ortaya çıkmaktadır. Fakat, adı geçen kombinasyonunun başarı oranı sadece %80'dir, yani bir geometride başarısız olmaktadır. Öte yandan, EDİ-GC kombinasyonu bu çalışmada son sırayı almaktadır. Tüm bu sonuçlar gösteriyor ki, doğru boyunca arama şartlarının kullanılan optimizasyon yönteminin başarısına ve performansını büyük bir katkısı vardır. Ayrıca bu şartların performansı problemden probleme farklılık gösterebilir. Son kullanıcılar kendi problemleri için en iyi optimizasyon yöntemi-doğru boyunca arama şartı kombinasyonunu bulmak için bu bulguları dikkate almalıdır.

Anahtar Kelimeler: En dik iniş metodu, Doğru boyunca arama, Performans profilleri, Veri profilleri, Doğrusal olmayan en küçük kareler uydurma, Optimizasyon

* Corresponding Author: kadirkiran@sdu.edu.tr

1 Introduction

The steepest descent method, developed by Cauchy [1], along with a line search has been widely implemented in many fields for optimization purpose. As such, in [2], a steepest descent optimization procedure was proposed to evaluate the circularity of a mechanical part. The authors used the geometrical methods for computing the steepest descent direction and step length and they reported that the proposed algorithm is more computationally efficient than the traditional optimization-based and computational geometry-based methods. Xiao et al. [3] employed the SD method for maximum power point tracking and the results showed that it is superior to hill climbing method. An algorithm based on the SD method for blind signal separation was presented by Dam et al. [4]. For optimal step length, they used a combination of Golden search technique and parabolic interpolation and it was determined from the computational experiments that the proposed algorithm provides faster converge than the one which uses constant step length. In addition to this study, regarding as the step length, Kalousek [5] released a random step length selection procedure for the SD method. On the other hand, the crystal lattice parameters were found by implementing the SD method in [6]. Another application of the SD method on the sensor placement problem was completed by Akbarzadeh et al. [7]. Furthermore, an energy minimization approach using the SD method for micromagnetics was presented by Exl et al. [8]. Besides those practical studies, various methods and algorithms, such as these of Refs. [9-11], have been proposed to improve the SD method performance in the literature.

It is concluded from the literature studies summarized above that the SD method is a useful and a practical tool for many applications and its performance may vary depending on the problem dealing with and the step length computations techniques being used. By keeping those facts in mind, in this paper, it is concentrated on performance evaluation of the SD method considering three well-known line search conditions including BC, ABC and GC in the nonlinear least squares geometry fitting. For this purpose, the five test geometries were built with 3D printer and then, their 2D profiles were acquired via the CMM. With implementing an iterative nonlinear least squares geometry fitting procedure, the best parameters, which enable to represent the measured data, for the test geometries have been identified. During the fitting process, the number of function evaluations at each iteration are monitored and the total number of function evaluations when the best parameters are found are set as the performance criteria of the SD-line search condition combination in question. Henceforth, the paper is organized as follows: Section II accommodates the nonlinear fitting procedure, as well as includes test geometries. Section III covers the experimental studies. The obtained results with discussion are provided in Section IV. Finally, Section V summarizes and concludes the paper.

2. Nonlinear Least Squares Fitting Procedure of CMM Data

To obtain the CMM data for nonlinear least squares fitting, the five test geometries containing circle, square, triangle, ellipse and rectangle have been selected. Their parametric mathematical models [12] are given as follows:

Circle:

$$\begin{aligned} x &= r_c \cos(u) + x_c \\ y &= r_c \sin(u) + y_c \end{aligned} \quad (1)$$

Square and rectangle:

$$\begin{aligned} x_u &= \frac{w}{2} (|\cos(u)| \cos(u) + |\sin(u)| \sin(u)) \\ y_u &= \frac{h}{2} (|\cos(u)| \cos(u) - |\sin(u)| \sin(u)) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} x &= x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c \\ y &= x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c \end{aligned}$$

Triangle:

$$r = \frac{h}{\cos\left(\frac{2}{n_s} \arcsin\left(\sin\left(\frac{n_s}{2} u\right)\right)\right)}$$

$$\begin{aligned} x_u &= r \cos(u) \\ y_u &= r \sin(u) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x &= x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c \\ y &= x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c \end{aligned}$$

Ellipse:

$$\begin{aligned} x_u &= a \cos(u) \\ y_u &= b \sin(u) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x &= x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c \\ y &= x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c \end{aligned}$$

In these equations, x and y are the geometry final coordinates, x_u and y_u are the geometry coordinates without rotation, x_c and y_c are the center coordinates of the geometry, u is the parameter ranging from 0 to 2π radians, r_c is the radius of circle, w is the width of square and rectangle, h is the height of square, rectangle and triangle, θ is the rotation angle, r is the radius of triangle, n_s is the number of edges (i.e., $n_s = 3$ for triangle), a is the radius of ellipse along the x axis and b is the radius of ellipse along the y axis.

It is well-established in the literature that the nonlinear least squares fitting method aims to minimize the sum of squared error between measured and computed data. To adapt this approach for geometry fitting, the following parameter dependent sum of the squared error [13], $\epsilon^2(p)$, is defined.

$$\begin{aligned} \epsilon^2(p) &= \sum_{j=1}^n [x_j - x_j^{model}(p)]^2 \\ &+ \sum_{j=1}^n [y_j - y_j^{model}(p)]^2 \end{aligned} \quad (5)$$

In Eq. (5), p is the parameter vector of the geometry (i.e., $p = [r_c \ x_c \ y_c \ u]$ for circle, $p = [w \ h \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$ for square and rectangle, $p = [h \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$ for triangle and $p = [a \ b \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$ for ellipse), n is the number of data points, x_j and y_j are the

coordinates acquired via CMM, x_j^{model} and y_j^{model} are the coordinated computed via mathematical model. To find the best parameter vector, which minimizes the $\epsilon^2(p)$, a line search procedure is used as follows:

$$p_{i+1} = p_i + \alpha h \quad (6)$$

where $h = -J^T D$ is the search direction which is the steepest descent direction in this study, J is the Jacobian matrix of the objective function and $D = \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \end{bmatrix}$, $D_x = x_i - x_i^{model}(p)$ $D_y = y_i - y_i^{model}(p)$. On the other hand, $\alpha > 0$ is the step length that defines the amount of the movement along the steepest descent direction. There are several computation methods (i.e., line search conditions) for this step length in the literature. We use three well-known line search conditions (i.e., BC, ABC and GC) [14] in this study. Their mathematical descriptions are given in Table 1.

Table 1. Line search conditions

BC	$\epsilon(p_i + \alpha h) \leq \epsilon(p_i)$
ABC	$\epsilon(p_i + \alpha h) \leq \epsilon(p_i) + \zeta \alpha G^T h$
GC	$\epsilon(p_i) + (1 - \nu) \alpha G^T h \leq \epsilon(p_i + \alpha h)$ $\leq \epsilon(p_i) + \eta \alpha G^T h$

In Table 1 $G = J^T D$ is the gradient of the objective function, ζ and η are the scalars. $\zeta = 0.25$ and $\eta = 0.35$ are used in here. The line search procedure with calculated step length at each iteration (i.e., Eq. (6)) keeps computing parameter vector until the converge condition is met, which is:

$$maximum|J^T D| \leq 10^{-3} \quad (7)$$

3. Experimental Studies

The geometries given in the previous section have been first built with 3D printer using PLA material. Their 2D profiles have been then obtained via the CMM, as shown in Fig. 1.

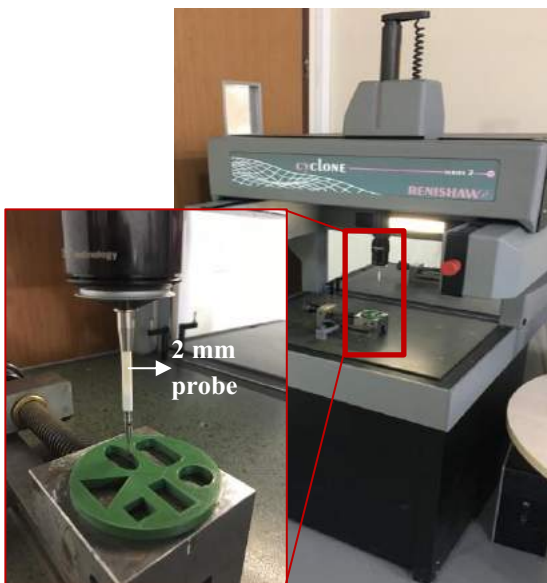


Fig. 1 Scanning of geometries

The scanning has been performed with 2 mm touch probe and the scanning speed $V_s = 100$ mm/min was used. An example CMM measurement for a square with this setup are shown in Fig. 2. As mentioned before, the collected data (i.e., x_j and y_j) are employed as the input for Eq. (5).

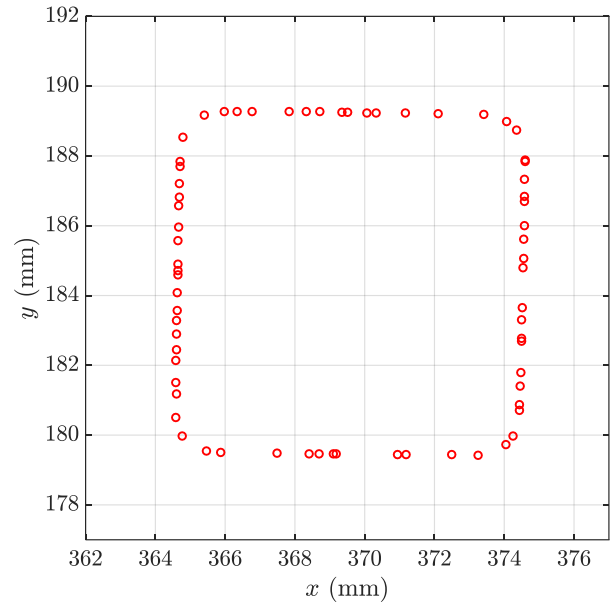


Fig. 2 Example CMM measurement

4. Results and Discussion

To test the effect of the line search conditions on the SD method performance, the nonlinear least squares geometry fitting procedure has been completed for all the geometries using the SD-line search condition combinations (i.e., SD-BC, SD-ABC and SD-GC). While performing this procedure, all the geometry parameters are monitored and recorded for every iteration. Besides, the sum of least square error, norm of the objective function gradient and the number of function evaluations to compute the step length are recorded to check the fitting procedure health. As an example for those data, Fig. 3 shows parameters and step length progresses at each iteration for a square fitting using the SD-ABC combination. In addition, the sum of least squares error and norm of the objective function gradient progresses are illustrated in Fig. 4.

As can be seen from Fig. 3, all the parameters successfully converge after a little bit fluctuation. Notice also that the step length α varies at each iteration. This is due to line search conditions the have to be met for a remarkable progress. Otherwise (i.e., using constant step length), it might require much more iterations to converge or, the algorithm may fail to complete fitting process. It noteworthy that although the use of varying step lengths may be beneficial for significant progress in the parameter search, they also bring computational cost, which is core of the paper. This will be elaborated in later of this section. However, to contribute this fact, a plot showing the number of function evaluations at each iteration are provided in Fig. 5. As seen, a quite amount of work to compute the step length is required to consume because the number of parameters to be found are large. More specifically, for this example square fitting, the number of parameters (i.e., $p = [w \ h \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$) to be found is 72. This large parameter value is emerged from the u which should be correspond to the number of measured points (i.e., 67 points in this fitting).

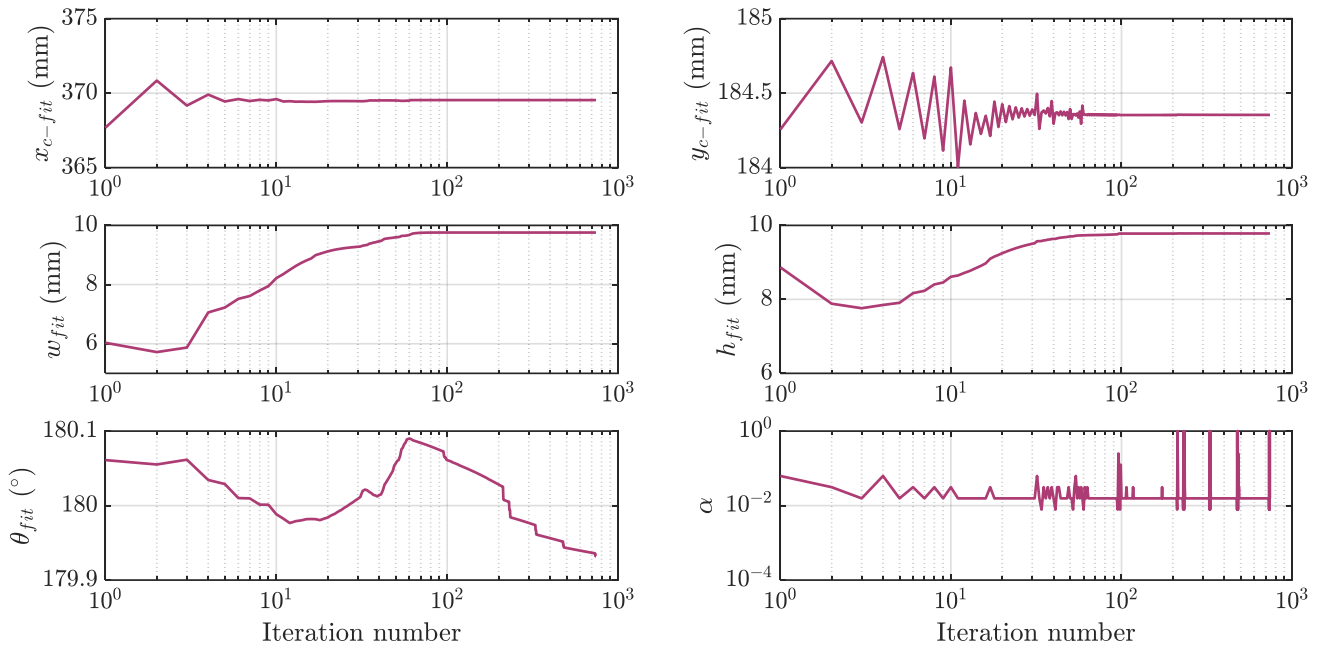


Fig. 3 Fitting parameters and step lengths

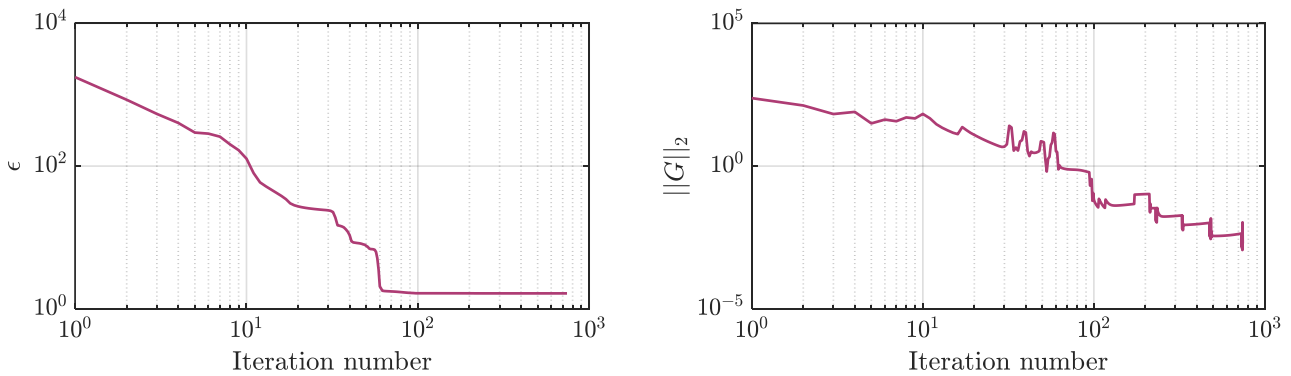


Fig. 4 Sum of least square error and norm of objective function gradient progresses

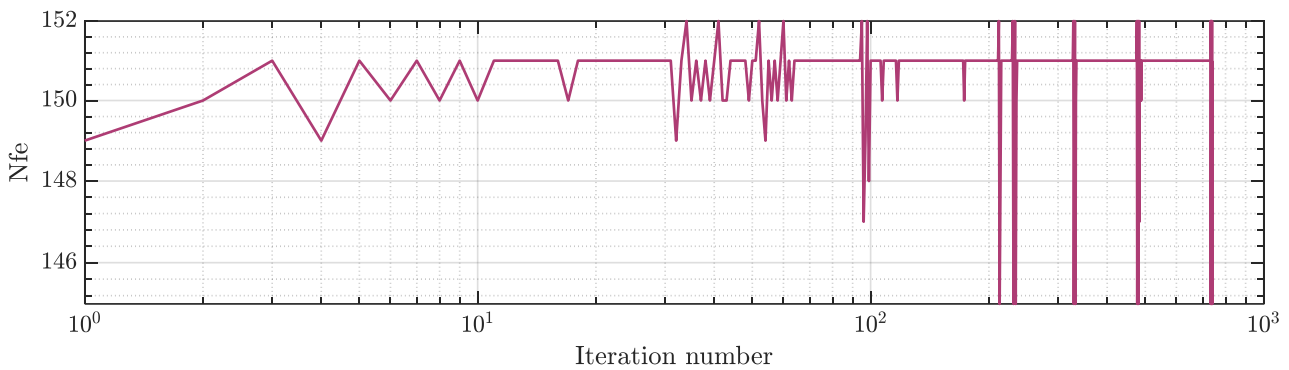


Fig. 5 Number of function evaluations at each iteration during the fitting process

The reason behind defining the u as a parameter is the irregular spacing between the measured points (see Fig. 2). Otherwise, from personal experience, the algorithm fails to complete geometry fitting process. This fact makes the geometry fitting more attractive to work on.

As a result of the progresses shown in Figs. 3 to 5, we achieved a successful square fit, as shown in Fig. 6. This figure also provides a comparison of actual, fit and measured squares. As seen, the square fit is satisfyingly able to represent the measured data. From the practical application of view, this fit,

for instance, enables us to identify the part tolerances, manufacturing accuracy (e.g., both additive and traditional manufacturing processes), quality inspection, tool path compensation amount etc. In Fig. 6, one can notice that there is a slight difference between the actual, fit and measured squares. The actual square dimensions are defined as $w = h = 10$ mm in the design step. However, the fit performed on measured data gives the dimensions to be $w = 9.7580$ mm, $h = 9.7812$ mm.

The difference between the actual and fit dimensions shows the manufacturing tolerance that might vary depending on the geometry to be built and the material to be used in the 3D printing.

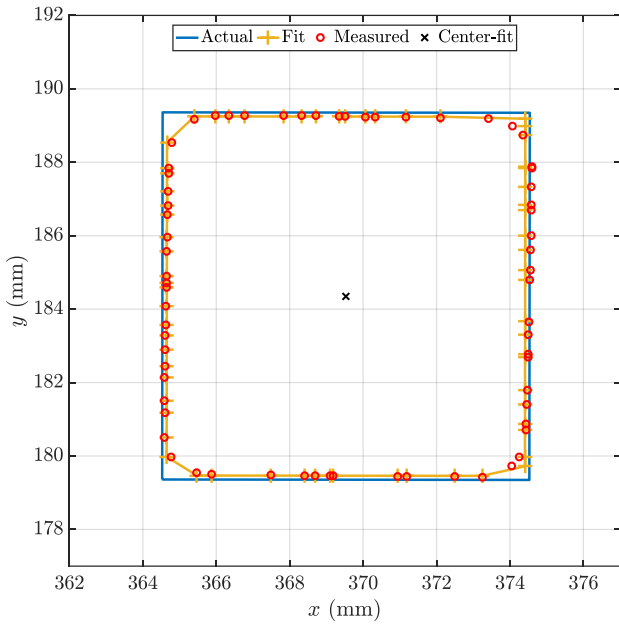


Fig. 6 A comparison between actual, fitted and measured squares

In other respect, the same parameter monitoring and fit quality checking procedures reported so far are also carried out in all the geometry fittings with the SD-line search condition combinations. When the combination in question meets converge requirement (i.e., Eq. 7), the line search stops and the total number of function evaluations performed thus far is recorded to be a performance criterion of the combination. By doing so, Figs. 7 is obtained.

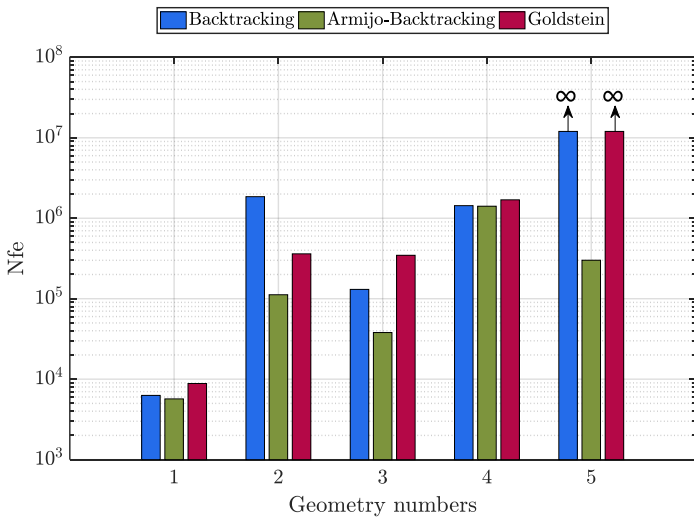


Fig. 7 Total number of function evaluations

This figure shows the total number of function evaluations for each line search condition, corresponding the geometries, when the converge occurs. In the figure, the geometry numbers (i.e., 1, 2, 3, 4 and 5) represent the circle, square, triangle, ellipse and rectangle, respectively. Besides, ∞ denotes that the corresponding SD-line search conditions combination is not successful to find the geometry parameters. Specifically, the SD-BC and SD-GC combinations could not complete the fitting process, thereby their total number of function evaluations are set to infinity. By focusing on the figure, one can realize that the SD-ABC

combination performs well-done on all the geometries and it requires the lowest number of function evaluations for converging compared to others. In addition, the circle geometry seems the easiest one to fit because all the combinations are successful on it with lower number of function evaluations in comparison with other geometries. This is attributed that the circle geometry equation is simpler and it does not need any rotation around its center while others require (see Eqs. 1 to 5). Similarly, we can state that the hardest one to fit is rectangle geometry due to the fact that the SD-BC and SD-GC combinations fails. Analogue observations can be extended by just looking at the Fig. 7. However, for more probabilistic analysis, we move on to the performance profiles, as shown in Fig. 8.

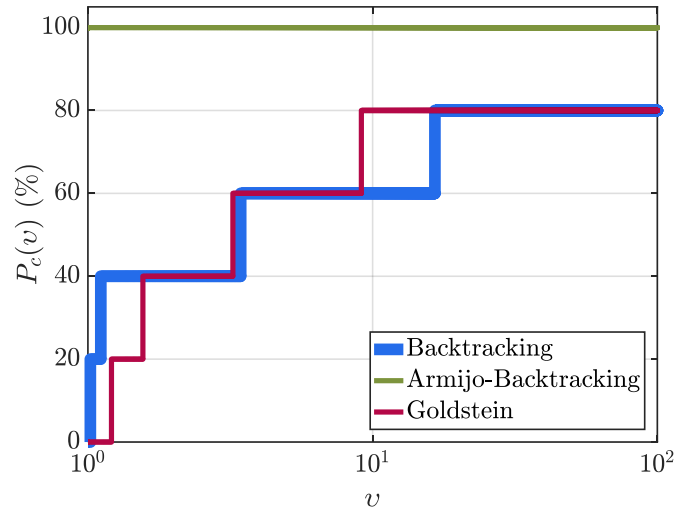


Fig. 8 Performance profiles-1

The idea behind the performance profiles, developed by Dolan and Moré [15], is to give the success probability of the solver on the test set within the given factor. By adapting this approach in the current study, we achieve the performance profiles of the line search conditions. They provide efficient and reliable assessments on the line search conditions. For instance, by looking at the values of $P_c(v = 1)$, we can determine the fastest line search condition which is the ABC. As seen from Fig. 8, it is the fastest one on all the geometries because its success probability at the factor $v = 1$ is $P_c(v = 1) = 100\%$ while others are 0% . This observation confirms the previous one conducted from Fig.7. As increasing v , the success probability of BC and GC start rising. Within the factor $v = 1.11$ of the fastest condition, for instance, the BC is able to be successful on the 2 geometries (i.e., $P_c(v = 1.11) = 40\%$). The BC success rate remains same at the factor range $1.11 \leq v \leq 3.43$. This range for the GC is $1.56 \leq v \leq 3.22$. At the factor $v = 9.13$ of the fastest condition, the GC reaches maximum success rate (i.e., $P_c(v = 9.13) = 80\%$) whereas the BC requires $v = 16.55$ for maximum performance. For clarity, $P_c(v) = 80\%$ means that the conditions in question are able to be successful on the 4 geometries out of 5. Fig. 7 verifies this fact as mentioned before. On the other hand, for identifying the second fastest condition, we need to exclude the first one because the performance profiles are dependent each other. By excluding the ABC and generating the performance profiles with rest of them, we obtain Fig. 9. As have been done before, it is possible to determine the second fastest one based on the $P_c(v = 1)$ values. It is obvious from Fig.9 that the second fastest one is the BC with the probability $P_c(v = 1) = 60\%$.

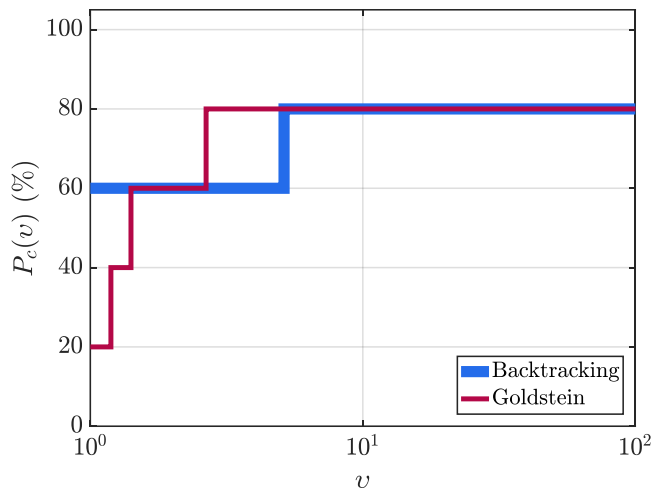


Fig. 9 Performance profiles-2

In other words, the BC has higher number of wins compared to GC (i.e., $P_c(v = 1) = 20\%$). Based on Fig.7, we can confirm this observation, which the BC has lower number of function evaluations on the geometries 1, 3 and 4 (i.e., circle, triangle and ellipse, respectively) than the GC. This property of the performance profiles is quite useful for speed ranking of the line search conditions. However, it is sometimes given a computational budget in terms of algorithm running time, memory usage, number of function evaluations, etc. and it is required to solve the certain number of problems within this budget. In this case, the performance profiles cannot be employed due to their dependency to each other. For an independent evaluation from a computational budget (i.e., total number of function evaluations in this study) perspective, we use the method of data profiles [16]. As such, the data profiles for all the line search conditions are indicated in Fig. 10 within the total number of function evaluations range $10^3 \leq \psi \leq 10^7$. In this figure, $D(\psi)$ denotes the percentage of the geometries, which are fitted, within the given computational budget ψ . To illustrate, for $\psi = 10^4$ all the line search conditions are able to complete fitting of only one geometry that is the circle (i.e., $D(\psi) = 20\%$). If we increase the ψ to 10^5 the ABC fits one more geometry, which is the triangle (i.e., geometry number 3, see Fig. 7), while others remain same. The speed of the SD-ABC combination also appears in data profiles as expected.

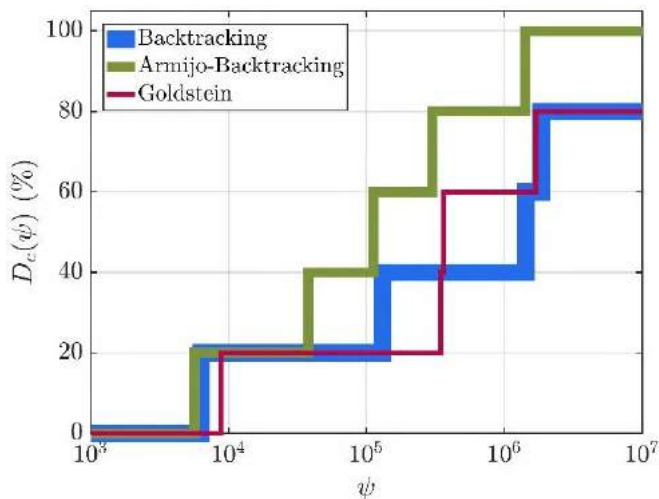


Fig. 10 Data profiles

By combining the knowledges obtained from performance and data profiles on the line search conditions, it is obvious that the ABC is the fastest and most robustness (i.e., fits all the geometries).

5. Conclusions

This paper has been concentrated on the performance assessment of the SD-line search condition combinations in nonlinear least squares geometry fitting. The three combinations, containing the SD-BC, SD-ABC and SD-GC, performances have been evaluated on the five geometries. Their 2D profiles were obtained using the CMM. In geometry fitting process, all the geometry parameters were kept track and the total number of function evaluations when the converge occurs were used as the performance measure of the combination in question. Using this measure, the performance and data profiles were generated for efficient performance assessments. It was seen that the geometry fitting is not a straightforward task because the u parameter for each measured point must be defined as a search parameter. It means that all the u parameters of measured points have to be included to be variables in addition to the number of dimension and rotation variables. This makes search parameter vector p large enough and difficult to fit. On the other hand, it was observed that the line search conditions play a crucial role for the SD method performance and success. For a remarkable performance, the end-users should consider this fact and it may be recommended to use the SD-ABC combination, which was found to be fastest and most robustness in this study, for geometry fitting. Moreover, the line search condition parameters (i.e., ζ and η for the ABC and GC, respectively) might have an effect on the performance of the SD method, which deserves further explorations.

Acknowledgment

The author acknowledges Design and Manufacturing Technologies Research Laboratory, Innovative Technologies Application and Research Center, Suleyman Demirel University where the experimental studies were performed.

References

- [1] Cauchy, A. (1847). Methode generale pour la resolution des systemes d'equations simultanees. *Comp. Rend. Sci. Paris*, 25(2), 536-538.
- [2] Zhu, L. M., Ding, H., Xiong, Y. L. (2003). A steepest descent algorithm for circularity evaluation. *Computer-Aided Design*, 35, 255-265.
- [3] Xiao, W., Dunford, W. G., Palmer, P. R., Capel, A. (2007). Application of centered differentiation and steepest descent to maximum power point tracking. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54, 2539-2549.
- [4] Dam, H. H., Nordholm, S., Low, S. Y., Cantoni, A. (2007). Blind signal separation using steepest descent method. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 55, 4198-4207.
- [5] Kalousek, Z. (2017). Steepest descent method with random step lengths. *Found Comput Math*, 17, 359-422.
- [6] Shirokanev, A. S., Kirsh, D.V., Kupriyanov, A.V. (2016). Application of gradient steepest descent method to the problem of crystal lattice parametric identification. *In CEUR Workshop Proceedings*, 1638, 393-400.
- [7] Akbarzadeh, V., Lévesque, J. C., Gagné, C., Parizeau, M. (2014). Efficient sensor placement optimization using gradient descent and probabilistic coverage. *Sensors*, 14, 15525-15552.

- [8] Exl, L., Bance, S., Reichel, F., Schrefl, T., H. Stimming, P., Mauser, N. J. (2014). LaBonte's method revisited: An effective steepest descent method for micromagnetic energy minimization. *Journal of applied physics*, 115, 17D118.
- [9] Andrei, N. (2006). An acceleration of gradient descent algorithm with backtracking for unconstrained Optimization. *Numer Algor*, 42, 63-73.
- [10] Quiroz, E. A. P., Quispe, E. M., Oliveira, P. R. (2008). Steepest descent method with a generalized Armijo search for quasiconvex functions on Riemannian manifolds. *J. Math. Anal. Appl.*, 341, 467-477.
- [11] Samir, C., Absil, P. A., Srivastava, A., Klassen, E. (2012). A gradient-descent method for curve fitting on riemannian manifolds. *Found Comput Math*, 12, 49-73.
- [12] <https://www.desmos.com> (Access date:16.05.2021).
- [13] Jia, P. (2017). Fitting a parametric model to a cloud of points via optimization methods. Ph.D. thesis, Syracuse University, New York, USA.
- [14] Nocedal, J., Wright, S. J. (2006). *Numerical optimization*, 2nd ed., New York, USA: Springer Science & Business Media.
- [15] Dolan, E. D., More, J. J. (2002). Benchmarking optimization software with performance profiles. *Mathematical programming*, 91(2), 201-213.
- [16] More, J. J., Wild, S. M. (2009). Benchmarking derivative-free optimization algorithms. *SIAM Journal on Optimization*, 20(1), 172-19.



Fabrication and Characterization of Mullite Reinforced MgO Added ZrO₂ Ceramics

Mehmet Akif Hafizoğlu^{1*}, Tahsin Boyraz², Ahmet Akkuş³

^{1*} Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9689-3004), mehmedhaf@hotmail.com

² Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4404-6388), tahsinboyraz@cumhuriyet.edu.tr

³ Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Sivas, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6881-9333), aakkus@cumhuriyet.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013063)

ATIF/REFERENCE: Hafizoğlu, M. A., Boyraz, T. & Akkuş, A. (2021). Fabrication and Characterization of Mullite Reinforced MgO Added ZrO₂ Ceramics. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1197-1203.

Abstract

In this study, mullite (3Al₂O₃.2SiO₂) and 10 mol % magnesia added zirconia (10 mol % MgO - 90 mol % ZrO₂) ceramic powders were synthesized by conventional ceramic production processing route. The mixtures were prepared by mechanical alloying method in acetone environment with zirconia ball mill. The powders were dried in oven at 110 °C for 24 hours before mixing. Mullite (3Al₂O₃.2SiO₂) and 10 mol% magnesia added zirconia (MgO-ZrO₂) ceramic powders were synthesized by reaction sintering from the powders made up of stoichiometric proportions of Al₂O₃, SiO₂, MgO and ZrO₂ powders after being homogenized in acetone environment in ball mills. Mullite (3Al₂O₃.2SiO₂) and 10 mol% magnesia added zirconia (MgO-ZrO₂) ceramic powders were synthesized in air at 1600 °C for 3 h and 1300 °C for 2 h, respectively. Then, the ceramic phases formed were made ready to form ceramic - ceramic composites by crushing, grinding and sieving processes. Then 0 and 10% by weight mullite (M) added magnesia doped zirconia (MgZ) mixtures were prepared by powder metallurgy method. The prepared mixtures were wet milled with zirconia ball mill for 24 h and sieved. After drying, the powders were compacted to preforms of 56x12x10 mm by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1500-1600 °C for 1-5 h in air conditions using a heating rate of 5 °C min⁻¹ in a high temperature furnace. Then, microstructure (SEM), phase analysis (XRD), mechanical (hardness, 3-point bending and wear) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity and density) tests were performed on the mullite added magnesia doped zirconia ceramic composites. In this study, whether there is a phase change in the ZrO₂ - MgO mixture at high sintering temperatures and the effect of mullite additive on the properties of this mixture was investigated. The data obtained were presented in graphs and tables and their comments were made.

Keywords: Zirconia, Mullite, Magnesia, Characterization, Wear.

Mullit Takviyeli MgO Katkılı ZrO₂ Seramiklerinin İmalatı ve Karakterizasyonu

Öz

Bu çalışmada, mullit (3Al₂O₃.2SiO₂) ve %10 mol magnezya katkılı zirkonya (%10 mol MgO - %90 mol ZrO₂) seramik tozları geleneksel seramik üretim yöntemi ile sentezlenmiştir. Karışımlar, zirkonya bilyalı değirmende aseton ortamında mekanik alaşımlama yöntemiyle hazırlanmıştır. Tozlar karıştırılmadan önce 110 °C'de 24 saat etüvde kurutulmuştur. Al₂O₃, SiO₂, MgO ve ZrO₂ tozlarının stokiometrik oranlarından oluşan tozların aseton ortamında bilyeli değirmende homojenize edildikten sonra geleneksel sinterleme yöntemiyle Mullit (3Al₂O₃.2SiO₂) ve %10 mol magnezya katkılı zirkonya (MgO-ZrO₂) seramik tozları sentezlenmiştir. Mullit ve %10 mol magnezya katkılı zirkonya seramik tozları sırasıyla 1600 °C'de 3 saat ve 1300 °C'de 2 saat sentezlenmiştir. Daha sonra oluşan seramik fazlar kırma, öğütme ve eleme işlemleri ile seramik - seramik kompozitleri oluşturmaya hazır hale getirilmiştir. Daha sonra ağırlıkça %0 ve %10 mullit (M) takviyeli magnezya katkılı zirkonya (MgZ) karışımları toz metalurjisi yöntemiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar zirkonya bilyalı değirmende 24 saat yaş öğütülmüş ve elenmiştir. Kurutulduktan sonra, tozlar 200 MPa'da tek eksenli presleme ile 56x12x10 mm'lik preformlara sıkıştırılmıştır. Devamında, yüksek sıcaklıklı bir fırında 5 °C/dak ısıtma hızı kullanılarak hava koşullarında 1500-1600 °C'de 1-5 saat sinterlenmiştir. Daha sonra mullit takviyeli magnezya katkılı zirkonya seramik kompozitler üzerinde mikroyapı (SEM), faz analizi (XRD), mekanik (sertlik, 3 nokta eğme ve aşınma) ve fiziksel özellikler (% küçülme, su emme, gözeneklilik ve yoğunluk) testleri yapılmıştır. Bu çalışmada, yüksek sinterleme sıcaklıklarında ZrO₂ - MgO karışımında faz değişimi

* Corresponding Author: mehmedhaf@hotmail.com

olup olmadığı ve mullit katkı maddesinin bu karışımın özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen veriler grafik ve tablolar halinde sunulmuş ve yorumları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zirkonya, Mullit, Magnezya, Karakterizasyon, Aşınma.

1. Introduction

Ceramic materials as a high temperature structural material due to their several interesting features such as, excellent resistance to heat, corrosion and abrasion, are preferred, in numerous areas like, cutting tools, extrusion dies, adiabatic diesel engine compartments [1-3]. However, ceramic materials have many disadvantages, such as low impact strength and fracture toughness, fragility and limited processability. So, a lot of studies focus on these issues to improve the structural and mechanical properties of ceramics. Among ceramic materials, zirconia (ZrO_2) and its composites have recently become the focus of scientific and technological studies because of their better mechanical properties, corrosion resistance, high temperature stability, low thermal conductivity and high chemical stability. [1]. They are used as structural materials in the manufacture of refractory crucibles for melting pure metals, components of furnaces, engines, heat barriers, wear resistant components, blade cutting tools and wire mesh drawing machines, dental studies and other a lot of fields [1-4]. High-purity zirconia (ZrO_2) exhibits three polymorphs depending on temperature: monoclinic phase is stable up to about 1170 °C. After this temperature, the conversion from the monoclinic phase to the tetragonal phase begins and the tetragonal phase is stable up to 2370 °C. From this temperature to the melting temperature of 2680 °C, it is in the cubic phase. [1,4]. During the cooling process, transition from the tetragonal to monoclinic phase occurs. This transformation is very important because of resulting in a volumetric change of around 3% to 5% and so, leads to cracks. To prevent this transformation and stabilize the zirconia, it is common to use stabilizers. The addition of stabilizers to ZrO_2 , lowers the temperature of polymorphic transformations, reduces the volume changes and blocks the transformation. With using stabilizers, it is possible to ensure the existence of high-temperature phases at room temperature too [4]. Different stabilizers, such as, Al_2O_3 , CaO, CeO_2 , MgO, SiO_2 , TiO_2 , Y_2O_3 and even a combination of them, stabilize and keep stable the ZrO_2 in the tetragonal and/or cubic forms at room temperature [5-7]. It is possible to produce materials consisting of only t- ZrO_2 or c- ZrO_2 or a mixture of these with m- ZrO_2 phases by adding different quantities of stabilizer. If less than sufficient stabilizing oxide is added, partially stabilized zirconia (PSZ) is obtained instead of fully stabilized zirconia. PSZ usually consists of two or more closely mixed phases. As a result of using stabilizers and obtaining fully or partially stabilized zirconia, achieve excellent mechanical properties such as bending strength, fracture toughness, hardness [8].

Although, zirconia exhibits better mechanical properties than other ceramics, but like all other ceramics, it is fragile and cannot be formed at room temperature. So, we want to increase the toughness of these materials. For this, some energy absorbing mechanisms such as transformation toughening and fiber reinforcement are used in ceramic matrices [1].

In the method of increasing fracture toughness with transformation toughening, it works on the principle of a phase transformation caused by tension, by reducing the driving force that propagates existing cracks in the material structure [1]. The best example of this is zirconia. Zirconia which is added to the

ceramic main phase, plays an important role in increasing the fracture toughness and thus the bending strength with its tetragonal - monoclinic transformation toughening feature. With the discovery of the transformation toughening that occurs in zirconia, this material has found wide use. Because the main factor limiting the use of ZrO_2 in advanced engineering applications was the low toughness of this material. Increasing the toughness property with transformation toughening has also increased the interest in zirconia. The volume increase of 3 - 5%, which occurs with the tetragonal - monoclinic phase transformation in zirconia, prevents crack propagation and increases the toughness of the material and its resistance to fracture [9]. The t-m transformation in zirconia can occur in different ways. For example: t- ZrO_2 can be free as a single particle or crystal; It can also be found in a compacted form in a matrix as a precipitate phase. Tetragonal zirconia particle size and the matrix in which the particles are compacted are the most important factors. A critical t- ZrO_2 grain size determine in ZrO_2 . If the grain size is below this critical size, there will be no transformation; above, the t-m transformation occurs either continuously or as a result of applying a stress [10].

In the ceramic - ceramic mixed structure formation process, which is the other method of increasing the fracture toughness, the strength and toughness are increased by adding ceramic whiskers, fibers or particles to the main phase. This method is based on creating a physical barrier to the progressive crack. Having higher tensile strength than polycrystalline material, whiskers are a good barrier to propagation cracking. So, the fracture toughness of the submicrometric or nanocrystalline zirconia can be further increased by adding secondary phases into zirconia matrix, such as nanotubes, nanofibres or nanoplatelets [11]. During the last decades, the development of nanomaterials has offered a new alternative for reinforcing ceramics. Carbon nanotubes (CNTs) have attracted increasing attention as reinforcement because of their excellent properties. However, the CNTs are prone to reacting with an oxide matrix at high temperature, leading to the degradation in mechanical properties of CNTs and a limited reinforcing effect on the ceramics [12,13]. So, it is stated that incorporation of mullite which is another type of ceramic toughening method with its high temperature oxidation and corrosion resistance and the other superior properties, might be preferred [11]. In the literature, mullite ($3 Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$) is defined as the unique stable intermediate crystalline phase of the Al_2O_3 - SiO_2 binary system, cost-friendly and exhibiting good refractory ability [14,15]. Mullite has received significant attention for technological applications due to its good properties such as high melting point, low coefficient of thermal expansion, high chemical stability, high creep resistance and sufficient hardness [16,17]. In summary, the fracture toughness of the submicron or nanocrystalline zirconia can be further improved by adding mullite being the secondary phase into the zirconia matrix and so, the other mechanical properties can be improved too [11]. In addition, the sintering temperature is also particularly important, because it affected the properties of ceramics through alteration of the microstructure and crystalline phases [18]. Studies continue on the effect of different sintering temperatures on the microstructure and mechanical properties of mullite-zirconia ceramics.

In this study, mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 10 mol % magnesia doped zirconia (MgO-ZrO_2) ceramic powders were synthesized by conventional ceramic production processing route. Then, the effect of mullite additive on the properties of this mixture was investigated. The data obtained were presented in graphs and tables and their results were commented.

2. Material and Method

Mullite and magnesia doped zirconia ceramic powders were produced by conventional ceramic production processing route in this study. All precursory powder materials (Al_2O_3 , SiO_2 , MgO and ZrO_2) used in the present work were purchased from Eczacıbaşı Company, Alfa Aesar and Handan Yaxiang Chemicals Trading Co., Ltd (Eczacıbaşı Esan, Turkey; Alfa Aesar, United States of America and Handan Yaxiang Chemicals Trading Co., Ltd, China). The mixtures were prepared by mechanical alloying method in acetone environment with zirconia ball mill. The powders were dried in oven at 110°C for 24 hours before mixing. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 10 mol% magnesia doped zirconia (MgO-ZrO_2) ceramic powders were synthesized by reaction sintering from the powders made up of stoichiometric proportions of Al_2O_3 , SiO_2 , MgO and ZrO_2 powders after being homogenized in acetone environment in ball mills. Mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) and 10 mol% magnesia doped zirconia (MgO-ZrO_2) ceramic powders were synthesized in air at 1600°C and 1300°C for 3h and 2 h, respectively. Then, the ceramic phases formed were made ready to form ceramic - ceramic composites by crushing, grinding and sieving processes. Then 0 and 10% by weight mullite added magnesia doped zirconia mixtures were prepared by powder metallurgy method (hereinafter these mixtures will be named MgZ0M and MgZ10M respectively). The sample was coded as MgZ10M16005 (MgZ: Magnesia doped zirconia; 10M: 10% Mullite addition and 16005: 1600°C sintering temperature and 5 hours sintering time). The prepared mixtures were wet milled with zirconia ball mill for 24 h and sieved. After drying, the powders were compacted to preforms of $56 \times 12 \times 10$ mm by uniaxial pressing at 200 MPa. The green compacts were sintered at 1500 - 1600°C for 1-5 h in air conditions using a heating rate of 5°C min^{-1} in a high temperature furnace (Protherm™ Furnace). Then, microstructure (SEM), phase analysis (XRD), mechanical (hardness, 3-point bending and wear) and physical properties (% shrinkage, water absorption, porosity and density) tests were performed on the mullite added magnesia doped zirconia ceramic composites.

The 3-point bending strength tests of the samples were performed on with a crosshead speed of 0.5 mm/min in a Shimadzu brand tensile-compression device. Five measurements were made for each sample and average results were accepted as the strength values of the samples. The strength calculations were made with the formula:

$$\sigma = 3/2 * P * L / (b * h^2) \quad (1)$$

(In (1) the letters mean that, P: maximum applied load, L: distance between supports, b: width, h: height).

The samples were polished on a velvet broadcloth using a 1 μm diamond solution after the 180, 320, 600, 1200 and 2500 grit sanding process, respectively. The diagonal field traces on the polished specimens were created using a square pyramid diamond tip with a 136° apex angle and 1 kg load for 10 seconds on the Mitutoyo brand vickers hardness tester. When calculating the hardness values, five measurements were taken and the results

were given as average [19-24]. Plint brand wear tester was used for the wear tests of ceramics. Steel discs were used as wear disc. Wear tests were performed on each sample at 400 rpm rate, 5, 10 and 15 min wear durations and 100 N force. First, the specimen was measured with a precision scale of 0.0001 g, and the amount of wear was determined by measuring again after the specified wear time [22,23]. To determine the phases, X-ray powder diffractometer with $\text{Cu K}\alpha$ radiation (Bruker AXS D8 Advance; 20kV - 60kV , 6mA - 80mA and $\theta = 10^\circ$ - 90° , 0.002°) was used. The phase analysis of the XRD patterns was determined using the Pananalytical X'Pert High Score program. The microstructural characterization of the samples was made with the Mira3XMU FE-SEM (Tescan, Czech Republic) brand scanning electron microscope (SEM) with an energy dispersion spectrum (EDS). The data obtained were presented in graphs and tables and their comments were made.

3. Results and Discussion

Specified to sintered samples: Physical tests (total shrinkage, water absorption, porosity and density tests), mechanical tests (hardness, 3-point bending and wear), scanning electron microscopy (SEM) for EDS analysis and XRD for phase analysis. Measurements and calculations were made 5 times replicates, and their arithmetic averages were obtained.

Table 1. Physical test results of MgZ0M and MgZ10M samples

Samples	Bulk dens. g/cm^3	Rel. dens. (%)	Water Absorp. (%)	Por. (%)	Shir. (%)
MgZ00M15001	5,35	95,77	0,56	4,23	13,45
MgZ00M15005	5,47	97,95	0,51	2,05	14,15
MgZ00M16001	5,49	98,32	0,49	1,68	14,33
MgZ00M16005	5,55	99,39	0,41	0,61	14,42
MgZ10M15001	4,67	88,70	0,25	11,30	11,63
MgZ10M15005	4,76	90,51	0,14	9,49	12,08
MgZ10M16001	4,61	87,69	1,15	12,31	11,34
MgZ10M16005	4,62	87,71	1,13	12,29	11,59

The results of physical measurements (water absorption, bulk density, porosity and shrinkage) are given in Table 1, and also shown Figure 1. In Figure 1, the relative density values were taken at the rate of 1/3 of the actual values for the graph to be more understandable.

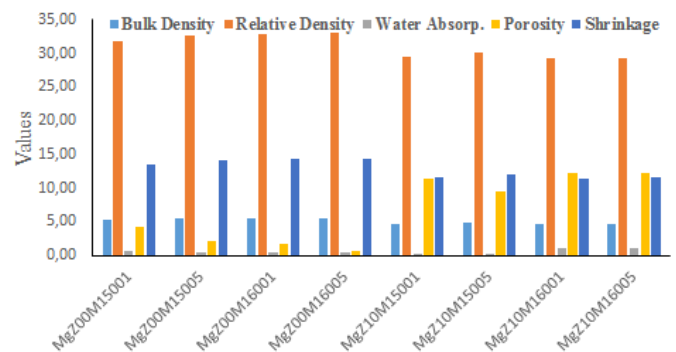


Figure 1. Physical test results graph of MgZ0M and MgZ10M samples

From the physical test results, it is seen that the shrinkage, experimental density and relative density values increase with increasing sintering temperature and time in mullite-free samples, and accordingly, the water absorption and porosity values decrease. In the mullite added samples, while the experimental density, relative density and shrinkage values increase in 1500 samples; these values decrease in 1600 samples. We think that this is a result of the defects and phase changes occurring in the microstructure at 1600 °C temperature. In addition, it is seen that the shrinkage, experimental density and relative density values are lower in mullite added samples, and the water absorption and porosity values are higher than the mullite-free samples.

Table 2, Figure 2 and Figure 3 indicated hardness and 3-point bending strength values of MgZ0M and MgZ10M samples.

From the Table 2 and Figure 2, when the hardness test results are examined, it is seen that the hardness values increased with increasing sintering temperature and time in mullite-free samples generally. But the hardness values of mullite added 1600 samples decreased with increasing the sintering temperature and time. We think that decreasing the hardness values in 1600 samples with mullite and 16005 without mullite, is related to the large pores formed in the microstructure and possible phase changes. In addition, it is seen that mullite additive reduces the hardness of the samples.

Table 2. Hardness and 3-point bending strength values of MgZ0M and MgZ10M samples

Samples	Hardness (HV)	3 - Point Bending Strength (MPa)
MgZ0M15001	783,38	150,40
MgZ0M15005	831,06	123,47
MgZ0M16001	835,02	110,94
MgZ0M16005	822,65	92,29
MgZ10M15001	479,63	60,27
MgZ10M15005	521,17	61,25
MgZ10M16001	407,95	88,06
MgZ10M16005	428,83	99,50

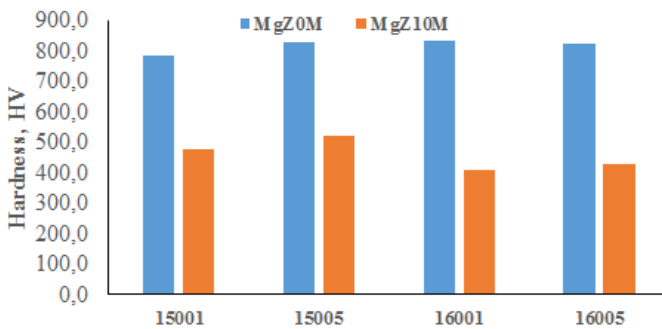


Figure 2. Hardness graph of samples

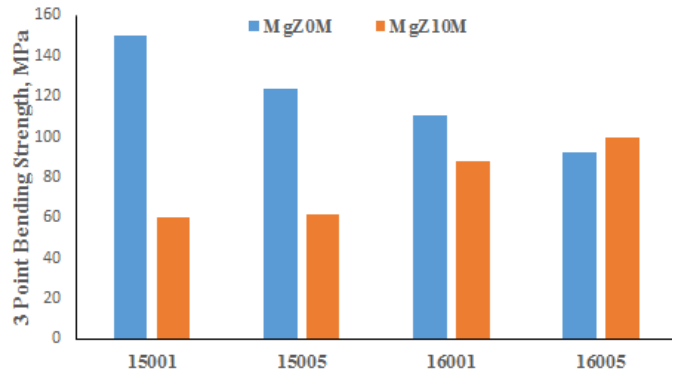


Figure 3. 3-Point bending strength graph of samples

The bending test results show that three - point bending strength values decreased with increasing sintering temperature and time in mullite-free samples; but in the mullite-added samples, on the contrary to the un-doped samples, the results show that the three-point bending strength values increased with increasing sintering temperature and time. Although the three-point bending strength values of the mullite-added samples increase in direct proportion to the temperature and time, it is seen that they are still lower than the un-doped samples. We think that this is about the differences in the microstructure and possible phase changes depending on the sintering temperature, sintering time and mullite additive.

Plint brand wear tester was used for the wear tests of ceramics. Steel disc is used as wear disc. Wear tests were performed on each sample at 5,10 and 15 min wear durations and 100 N force (400 rpm constant speed). First, the specimen was measured with a precision scale of 0.0001 g, and the amount of wear was determined by measuring again after the specified wear time. The wear results are shown in Table 3 and Figure 4.

Table 3. Wear Results of MgZ0M and MgZ10M Samples

Samples	Wear Volume (mm ³), 100 N		
	5 min.	10 min.	15 min.
MgZ0M15001	0,104	0,317	0,523
MgZ0M15005	0,092	0,184	0,405
MgZ0M16001	0,088	0,127	0,296
MgZ0M16005	0,085	0,158	0,322
MgZ10M15001	1,119	1,764	3,436
MgZ10M15005	0,686	1,362	3,193
MgZ10M16001	0,652	1,298	2,887
MgZ10M16005	0,477	1,233	2,656

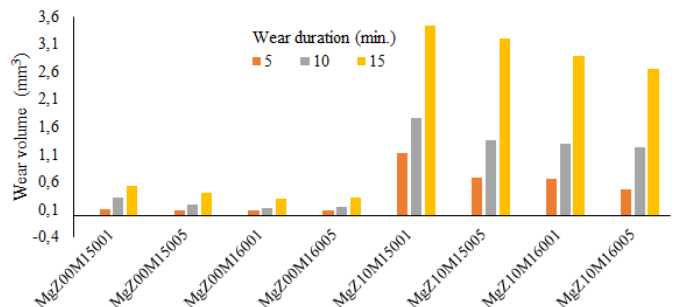


Figure 4. Wear test results graph of samples

We see from the wear test results that, the results vary depending on the hardness, bending strength and wear time of the samples. In general, as the wear time increased, the amount of wear of the samples also increased. The wear resistance of the samples with high hardness and bending strength is higher and the mullite additive affected negatively and reduced the wear resistance of these samples.

For the mullite-added samples, although the hardness values of 1600 samples are lower, the wear resistance is better than 1500 samples. Because the flexural strengths of these 1500 samples are higher. So, we understand that the flexural strength played a decisive role in the wear properties of these mullite-added samples.

Although adhesive type wear was observed in the samples in general, it was observed that with the increase in the wear time in some samples, cracks occur on the worn surface and very small pieces break off and cause abrasive wear too.

The phase changes in the sample structure depending on the sintering temperature and time of MgZOM and MgZ10M samples were analyzed and the basic phases that emerged in the structure were shown in Figure 5 and Figure 6.

The microstructure image of MgZ00M16005 and MgZ10M16005 samples is given in Figure 7.

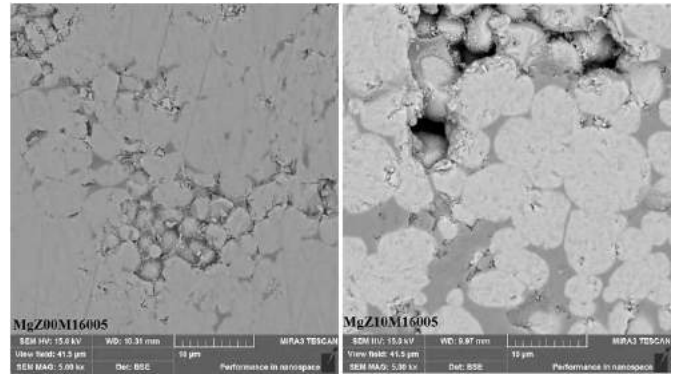


Figure 7. SEM images of MgZ00M16005 and MgZ10M16005 samples

Elemental analyzes of MgZ00M16005 and MgZ10M16005 samples with EDS are given in Figure 8 and Figure 9.

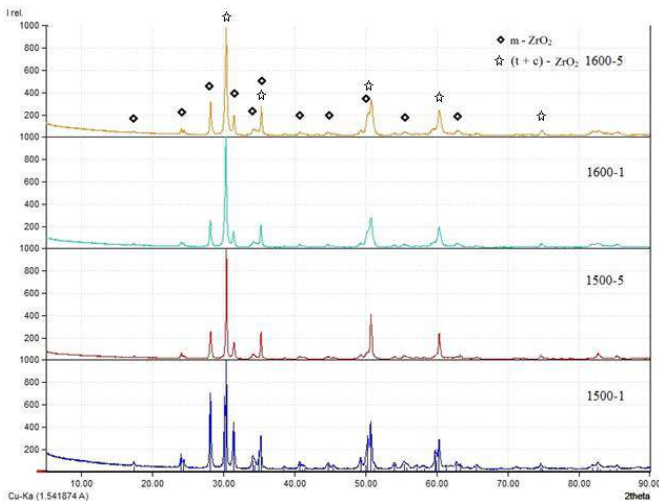


Figure 5. XRD patterns of MgZ0M samples

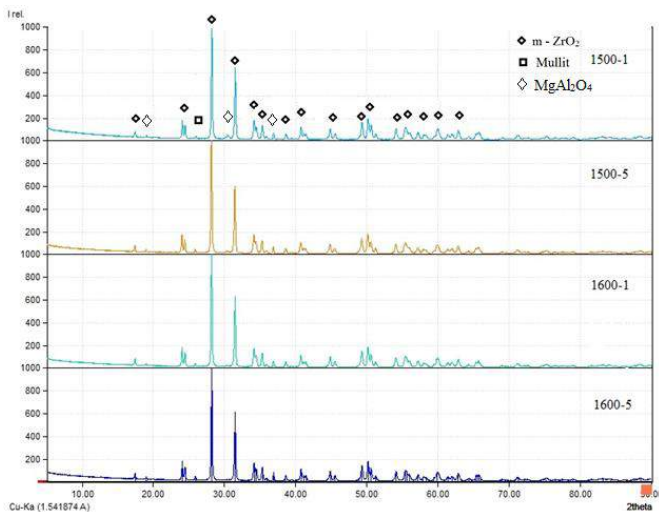


Figure 6. XRD patterns of MgZ10M samples

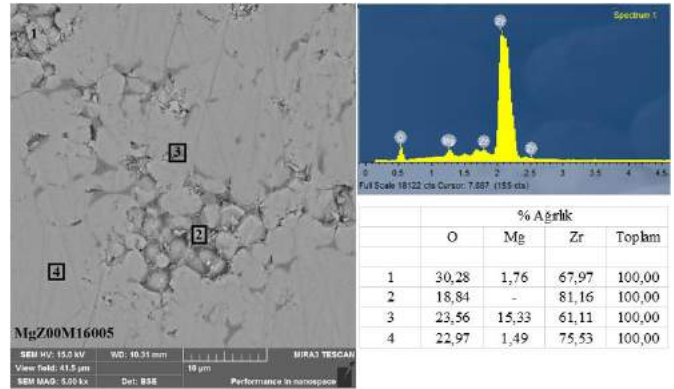


Figure 8. EDS analyses of MgZ00M16005 samples

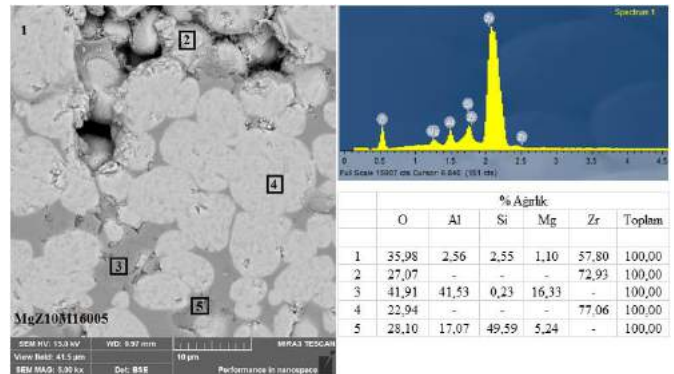


Figure 9. EDS analyses of MgZ10M16005 samples

Galusek et al [25] produced Mg-PSZ (3,5 wt% MgO) samples at 1400 – 1600 °C sintering temperatures with an hour sintering time using dry press and isostatic press. They reported that bending strength and fracture toughness values of 1500 samples were highest. Also, they remarked that from 1400 to 1600 sintering temperatures, the c-ZrO₂ phase in the structure increased and the m-ZrO₂ phase decreased. In addition, they specified that the samples contain large c-ZrO₂ grains and m-ZrO₂ grain boundary precipitates. It has been stated that flexural strength is

related to fracture toughness as well as the size of large defects in the matrix.

Wang et al [26] produced 10 mol% MgO - 90 mol% ZrO₂ composites at 1370 – 1610 °C sintering temperatures for an hour and obtained the highest density value and hardness value at 1530 °C temperature. They stated that there was completely c-ZrO₂ phase in the structure at 1610 °C, and the density and hardness decreased due to porosity and grain coarsening.

Similar to the work of Galusek et al and Wang et al, in our mullite-free samples from the XRD patterns given in Figure 5, it is seen that the c-ZrO₂ phase increased with increasing temperature and time. But in 16005 samples, the m-ZrO₂ phase increased in the structure again. Since the increase in c-ZrO₂ phase decreases the t-ZrO₂ phase, the bending strength decreased. In addition, the lowest bending strength was observed in 1600-5 samples, since the flexural strength would decrease due to the increase of the m-ZrO₂ phase and grain growth. The hardness value also decreased with the increase of the m-ZrO₂ phase.

Chandra et al [27] produced 2.5-10 wt% MgO added mullite-zirconia composite specimens at 1450-1550 °C sintering temperatures for 3-5 hours. They stated that as the temperature and time increased, the mullite ratio in the structure increased and the properties improved accordingly. In addition, it was stated that glassy phases such as spinel (MgAl₂O₄) were formed in the structure, and these phases decreased with increasing temperature and time.

Haldar [28] produced 4 – 8 mol% MgO added mullite-zirconia ceramics at 1500 – 1600 °C sintering temperatures by 2 hours sintering time. He stated that the density and % shrinkage values decreased from 1500 °C to 1600 °C with MgO.

In this respect, we think that in the mullite added samples in Figure 6, mullite increased with the increase of temperature and time and provided a more homogeneous microstructure, therefore, the flexural strength of the mullite added samples increased. It is understood that the spinel phase, which is more clearly seen in the 1500-1 sample, decreased towards the 1600-5 samples and turned into other phases. We think that this is another reason for the increase in flexural strength.

The decrease of the density values in 1600 samples give results compatible with Haldar's study. The reduction in hardness and density support each other. We think that this is due to grain coarsening.

According to the EDS analyzes given in Figure 8 and Figure 9, the evaluation of the EDS analysis results on the MgZ00M16005 and MgZ10M16005 samples was made from general (1) and parts 2, 3, 4, 5. It has been observed that the results of the EDS elemental analysis made from the general field survey (1) and other parts are compatible with the contribution rates and XRD results made to the samples.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, utilization of mullite in the manufacturing of magnesia doped zirconia was investigated and it has been evaluated the effect of MgO and mullite contribution to ZrO₂ main matrix.

In MgZ0M coded samples, with increasing sintering temperature and time, generally shrinkage, experimental density, relative density and hardness values and wear resistance

increased; It was observed that water absorption, porosity and three-point flexural strength values decreased. Among these samples without mullite, the hardness value and wear resistance of the 1600-5 sample decreased. Similar to the studies of Galusek et al [25] and Wang et al [26], in the XRD patterns of our mullite-free samples, the c-ZrO₂ phase increased with increasing sintering temperature and time. But in 1600-5 samples, the m-ZrO₂ phase increased again. Since the increase in c-ZrO₂ phase decreased the t-ZrO₂ phase, the flexural strength values decreased. In addition, the lowest bending strength was observed in 1600-5 samples, since the flexural strength would decrease due to the increase of the m-ZrO₂ phase and excessive grain coarsening. The hardness values also decreased in 1600-5 samples due to the increase in the m-ZrO₂ phase.

It is seen that the three - point bending strength values of MgZ10M coded mullite added samples increase with increasing sintering temperature and time, contrary to the un-doped samples, but these values are still lower than the un-doped samples. As the studies of Chandra et al [27] and Haldar [28], we think that the mullite in the structure increased with the increase of temperature and time and provided a more homogeneous microstructure, therefore the flexural strength of the mullite added samples increased. It is understood that the spinel (MgAl₂O₄) phase, which is more clearly seen in the XRD pattern of the 1500-1 sample, decreased towards the 1600-5 samples and turned into other phases. We think this is another reason for the increase in flexural strength.

The wear volume values of the samples with mullite additives are higher than the samples without additives; therefore, it is understood that the mullite additive affects these samples negatively and reduces the wear resistance. In addition, although the hardness values of the mullite added 1600 samples were lower, the abrasion resistance was better than the mullite added 1500 samples since their bending strength was higher and the bending strength played a decisive role in the wear properties of these samples. While shrinkage, experimental density, relative density and hardness values increased in mullite added 1500 samples; In 1600 samples, these values decreased in agreement with Haldar's [28] study. The reduction in hardness and density support each other. We think that this is due to grain coarsening.

While m-ZrO₂, t-ZrO₂ and c-ZrO₂ phases were detected in mullite-free samples; Mullite, m-ZrO₂ and spinel phases were detected in the mullite doped samples.

5. Acknowledge

This work is supported by the Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University under the project number M-767. Authors would like to acknowledge Scientific Research Project Fund of Sivas Cumhuriyet University.

References

- [1] Boyraz, T. (2008). An investigation on physical and electrical properties of CaO/MgO-stabilized zirconia ceramics formed with different methods. Istanbul Technical University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 150p.
- [2] Pekdemir, A.D. (2018). Preparation and characterization of boron carbide at low-temperature from boric acid and polyols. Ankara University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 178p

- [3] Ceylan, A. (2006). The production of functionally graded SiAlON ceramics by tape casting method. Anadolu University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 204p.
- [4] Abi, C.B. (2009). An investigation on fracture toughness of traditional and technical ceramics. Afyon Kocatepe University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Doctoral dissertation). 194p.
- [5] Hafizoğlu M. A., Boyraz, T. and Akkuş, A. (2021). Fabrication, characterization and wear properties of mullite reinforced silica-doped zirconia ceramic composites. 4. *International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology (IMSMATEC'21)*.
- [6] Hafizoğlu M. A., Akkuş, A. and Boyraz, T. (2021). Fabrication, characterization and wear properties of mullite reinforced Al₂O₃-doped ZrO₂ ceramic composites. *Global Conference on Engineering Research (GLOBECER'21)*.
- [7] Hafizoğlu M. A., Boyraz, T. and Akkuş, A. (2021). Fabrication and characterization of mullite reinforced TiO₂ added ZrO₂ ceramics. *International Joint Science Congress of Materials and Polymers (ISCOMP'21)*.
- [8] Cutler, R. A., Reynolds, J. R. and Jones, A. (1992). Sintering and characterization of polycrystalline monoclinic, tetragonal, and cubic zirconia. *Journal of the American Ceramic Society*, 75(8), 2173-2183.
- [9] Boyacıoğlu, T. (2007). Improvement of room temperature mechanical properties of various amount of metal oxide doping cubic zirconia (c-ZrO₂) used as electrolyte material for solid oxide fuel cells. Gazi University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Master's thesis). 123p.
- [10] Boyraz, T. (1998). Dental porcelain powders. Sakarya University / Graduate School of Natural and Applied Sciences, (Master's thesis). 131p.
- [11] Liu, P. F., Li, Z., Xiao, P. et al. (2018). Microstructure and mechanical properties of in-situ grown mullite toughened 3Y-TZP zirconia ceramics fabricated by gelcasting. *Ceramics International*, 44(2), 1394-1403.
- [12] Eichler, J., Rödel, J. et al. (2007). Effect of grain size on mechanical properties of submicrometer 3Y-TZP: fracture strength and hydrothermal degradation. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(9), 2830-2836.
- [13] Sun, J., Gao, L., Iwasa, M., Nakayama, T. and Niihara, K. (2005). Failure investigation of carbon nanotube/3Y-TZP nanocomposites. *Ceramics International*, 31(8), 1131-1134.
- [14] El Ouati, R., Guillemet, S., Durand, B. et al. (2005). Reactivity of aluminum sulfate and silica in molten alkali-metal sulfates in order to prepare mullite. *Journal of the European Ceramic Society*, 25(1), 73-80.
- [15] Kucuk, I. and Boyraz, T. (2019). Structural and mechanical characterization of mullite and aluminium titanate reinforced yttria stabilized zirconia ceramic composites. *Journal of Ceramic Processing Research*, 20(1), 73-79.
- [16] Kumar, P., Nath, M. et al. (2015). Enhancement of thermal shock resistance of reaction sintered mullite-zirconia composites in the presence of lanthanum oxide. *Materials Characterization*, 101, 34-39.
- [17] Roy, J., Das, S. and Maitra, S. (2015). Solgel-processed mullite coating—a review. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 12, E71-E77.
- [18] Denry, I. and Kelly, J. R. (2008). State of the art of zirconia for dental applications. *Dental materials*, 24(3), 299-307.
- [19] Çitak, E. and Boyraz, T. (2014). Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/YSZ Ceramics. *Acta Physica Polonica A*, 125(2), 465-468.
- [20] Önen, U. and Boyraz, T. (2014). Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/spinel ceramic matrix composites. *Acta Phys. Pol. A*, 125(2), 488-490.
- [21] Sacli, M., Onen, U. and Boyraz, T. (2015). Microstructural characterization and thermal properties of aluminium titanate/porcelain ceramic matrix composites. *Acta Physica Polonica A*, 127(4), 1133-1135.
- [22] Boyraz, T. and Akkuş, A. (2021). Investigation of wear properties of mullite and aluminium titanate added porcelain ceramics, *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 22, No. 2, pp. 226-231.
- [23] Akkus, A. and Boyraz, T. (2018). Investigation of wear properties of CaO, MgO added stabilized zirconia ceramics produced by different pressing methods. *J Ceram Process Res*, 19(3), 249-52.
- [24] Kucuk, I., Boyraz, T. et al. (2018). Thermomechanical properties of aluminium titanate (Al₂TiO₅)-reinforced forsterite (Mg₂SiO₄) ceramic composites. *Ceramics International*, 44(7), 8277-8282.
- [25] Galusek, D., Znášik, P., & Majling, J. (1999). The influence of cold isostatic pressing on compaction and properties of Mg-PSZ ceramics. *Journal of materials science letters*, 18(16), 1347-1351.
- [26] Wang, J., Chu, D., Ma, H., Fang, S., Chen, Q., Liu, B., ... & Jia, X. (2021). Effect of sintering temperature on phase transformation behavior and hardness of high-pressure high-temperature sintered 10 mol% Mg-PSZ. *Ceramics International*, 47(11), 15180-15185.
- [27] Chandra, D., Das, G., & Maitra, S. (2015). Comparison of the Role of Mg O and C a O Additives on the Microstructures of Reaction-Sintered Zirconia–Mullite Composite. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 12(4), 771-782.
- [28] Haldar, M. K. (2003). Effect of magnesia additions on the properties of zirconia-mullite composites derived from sillimanite beach sand. *Ceramics international*, 29(5), 573-581.



Sac Malzeme Üretiminde Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Batuhan Özakin^{1*}

^{1*} Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1754-949X), batuhan.ozakin@samsun.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013679)

ATIF/REFERENCE: Özakin, B. (2021). Sac Malzeme Üretiminde Hata Türleri ve Etkileri Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1204-1209.

Öz

Sac malzemeler genellikle soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen yassı ürünlerdir ve birçok endüstride yoğun olarak kullanılmaktadır. Üretim sürecinde üründe meydana gelen hatalar birtakım sorunlara yol açmaktadır ve hatalı ürünün kullanımı yine birtakım olumsuzluklara sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla üretim sürecinde hataların giderilmesine yönelik birtakım önlemler alınması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA; FMEA) yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen sac malzemelerde üretim sürecinden kaynaklı meydana gelebilen ürün hataları belirlenmiş ve bu hatalara yönelik HTEA yöntemi kullanılarak risk öncelik sayıları (RÖS) tespit edilmiştir. Üretim sürecinde yüksek riske sahip (RÖS>100) hataların oluşmasını engellemek veya azaltabilmek amacıyla alınması gereken önlemlere yönelik birtakım önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Soğuk Haddeleme, Sac Malzemeler, Hata Türleri ve Etkileri Analizi, Risk Öncelik Sayısı, Düzeltici Faaliyetler.

Failure Modes and Effect Analysis in Sheet Metal Manufacturing

Abstract

Sheet materials are generally flat products produced by cold rolling and are used extensively in many industries. Defects in the product during the manufacturing process cause some problems and the use of the defect product also causes some negativities. Therefore, some measures should be taken to eliminate defects in the manufacturing process. For this purpose, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) method is widely used. In this study, product defects that may occur due to the manufacturing process in sheet materials produced by cold rolling method were determined and risk priority numbers (RPN) were determined by using the FMEA method for these defects. In order to prevent or reduce the occurrence of high-risk (RPN>100) defects in the manufacturing process, some suggestions have been made for the precautions to be taken.

Keywords: Cold Rolling, Sheet Materials, Failure Modes and Effects Analysis, Risk Priority Number, Corrective Actions.

* Sorumlu Yazar: batuhan.ozakin@samsun.edu.tr

1. Giriş

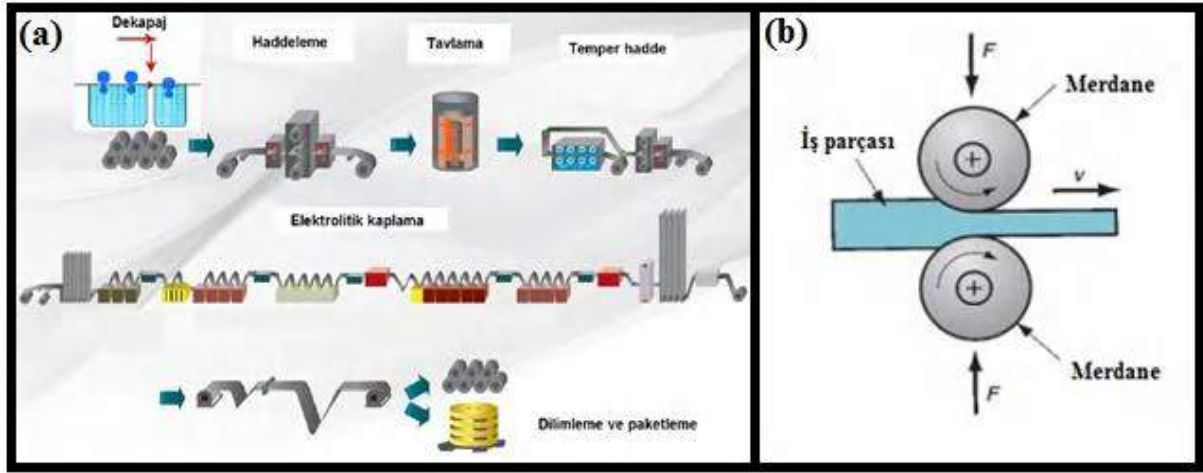
Sac malzemeler, kalınlıkları 0.2-2.0 mm arasında değişen ve soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen yassı ürünlerdir (Erdemir, 2021). Soğuk haddelemiş yassı ürünler otomotiv, havacılık, makine, konstrüksiyon vb. birçok endüstride yoğun olarak kullanılmaktadır (Sharma ve Yadava, 2018). İmalat sürecinde üretimi gerçekleştirilen üründe meydana gelen hatalar, ürün kalitesi açısından sorunlar oluşturmakta ve hatalı ürünün kullanılması zaman, işgücü ve kaynak vb. kayıpların meydana gelmesine sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla imalat sürecinde hataya sebebiyet veren unsurların belirlenmesi, öncelik sırasına konulması ve bu unsurların süreç içerisinde çözümüne yönelik birtakım önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda çoğunlukla kolay ve etkili çözümler sunan, sıklıkla kullanılan Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) yönteminin kullanımı oldukça yaygındır (Şimşir vd., 2018). HTEA (FMEA: Failure Modes and Effect Analysis) yöntemi, imalat sürecinden elde edilen ürünün müşteriye sunulmadan önce süreçten kaynaklı hatalarının tanımlanması, belirlenmesi ve önlenmesi için başta kullanılan bir yöntemdir ve böylece imalat sürecindeki kayıpları en aza indirerek ürünün kalitesinde artışa yol açar ve müşteri memnuniyetinin artmasına sebep olur (Stamatis, 2003; Nguye vd., 2018; Wu vd., 2021). Literatürde HTEA tekniğini kullanarak üründe meydana gelen hata türlerini ve etkilerini analiz eden birçok çalışmaya ulaşılabilir. Vinodh ve Santosh (2012), bir otomotiv yaprak yayı (makas) üretim organizasyonuna HTEA yönteminin uygulamasını yapmışlardır. Çalışmada, tasarımda iyileştirmeye yol açan eylemler tespit edilmiş ve bu eylemlerin takibi sonucunda makasların kalitesinde iyileşme olduğu belirlenmiştir. Mhetre ve Dhake (2012), hassas pres parçaları imalat endüstrisindeki hataları azaltmak, geliştirme süresini kısaltmak ve ürün güvenilirliğini artırmak amacıyla Ishikawa diyagramı ile HTEA yöntemlerini uygulamışlardır. Potansiyel riskler ve mevcut riskleri tanımlamışlardır. Olası risklere en kısa sürede alınması gereken bazı önlemler önermişlerdir. Parsana ve Patel (2014) yaptıkları çalışmada, silindir kapağı üretim sürecinde HTEA yöntemiyle mevcut ve potansiyel hataları belirlemeyi ve ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Ayrıca silindir kapağı üretim süreçlerinin verimliliğini ve etkinliğini iyileştirmeye ve müşteri memnuniyetini artırmaya yardımcı olan potansiyel risklerden kaçınmak için mümkün olan en kısa sürede alınması gereken bazı eylemler önermişlerdir. Bu çalışma ile hem parasal zaman hem de kalite açısından endüstrinin kaybının önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varmışlardır. Suresh ve arkadaşları (2017), kızartma tavası üretim sürecinde HTEA uygulamasını ele almışlardır. Hata türlerini belirleyerek her hata türü için risk öncelik sayılarını bulmuşlar ve yüksek riskli hata türlerini belirlemişlerdir. Şimşir ve arkadaşları (2018), haddehanede oluşan hata türlerini HTEA yöntemiyle bulup, risk öncelik sayılarını hesaplayarak olası hataları sıralamışlardır. Buldukları sıralamaları farklı hata türü ve analiz metodlarıyla karşılaştırmışlar ve farklı hata türü ve analiz metodlarının kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Kaya ve

Alaykiran (2019) yaptıkları çalışmada, döküm tekniği ile üretilen bir parçanın üretimine HTEA analizini uygulamışlardır. Döküm yöntemine ait üretim sürecini analiz etmişler ve hata türlerini belirledikten sonra bu hatalara düzeltici ve önleyici eylemler önermişler ve alınan önlemler sonrasında hatanın oluşup oluşmadığını izlemişlerdir. Önlemler sonrasında yapılan faaliyetler doğrultusunda hata türleri üzerinde yaklaşık olarak % 50 oranında iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir. Dwianda (2021), CNC freze makinelerinde HTEA tekniğini kullanarak pnömatik sistemlerinin performansını iyileştirmek için hataların türlerini belirleyerek hataları önlemeye yönelik birtakım öneriler sunmuştur. Çalışmanın sonucunda pnömatik sistemde en kritik riskin valf bileşeninde kaçak olduğunu ve bu risk için en iyi iyileştirmenin, bakım prosedürlerini üreticinin belirttiği doğrultuda izlemenin optimum sonuç olacağını önermiştir. Literatürde soğuk haddeleme ile üretilen sac malzemelerin üretim sürecine yönelik bir çalışmanın gerçekleştirilmediği görülmüş ve bu türden bir imalat sürecinde hata türleri ve etkileri analizi ile bir uygulama yapılmasının literatüre katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen sac malzemelerde üretim sürecinden kaynaklı meydana gelebilen ürün hataları belirlenmiş ve bu hatalara yönelik HTEA yöntemi kullanılarak risk öncelik sayıları (RÖS) tespit edilmiştir. Üretim sürecinde yüksek riske sahip (RÖS>100) hataların oluşmasını engellemek veya azaltabilmek amacıyla alınması gereken önlemlere yönelik birtakım önerilerde bulunulmuştur.

2. Sac Malzeme Üretim Süreci

Sıcak haddeleme yöntemiyle üretilen levha veya şerit malzeme yüzeyinde birtakım istenmeyen kalıntılar, asitleme hattında (dekapaj) giderildikten sonra sıcak haddelemeye göre daha az ezme miktarıyla soğuk haddeleme işlemine tabi tutulur ardından deformasyon sertleşmesinin (pekleşme) etkilerini azaltmak üzere tavllanır. Tavlanan yassı ürün daha sonra müşteri tarafından istenilen yüzeyin elde edilmesi için temper haddeleme işleminden geçirilir. Temper haddeden geçen yassı ürün direkt kullanılabilirliği gibi korozyon etkilerinin yoğun olacağı uygulamalarda yüzeylerine birtakım kaplamalar (çinko, krom, kalay, alüminyum vb.) ile kaplanır. Son olarak yassı ürün dilimleme işlemine tabi tutulur ve birtakım kontroller (boyut, yüzey, kalınlık vb.) sonrasında paketlenerek piyasaya arz olunur (Değirmenci, 2006; Özakin ve Kurgan, 2019; Özakin, 2021). Şekil 1.a'da sac malzemelerin soğuk haddeleme imalat süreci gösterilmektedir. Soğuk haddeleme ile sac malzemelerin üretiminde şerit veya levha şeklindeki iş parçası, kalınlık yönünde iki döner merdane arasında sıkıştırılarak kalınlığının azaltılması esasına dayanır (Şekil 1.b). Dönen merdaneler şerit veya levha şeklindeki iş parçasını boşluğa çeker ve sıkıştırır. Nihai ürün sac şeklindedir (TI Strip, 2021).



Şekil 1. a) Sac malzemelerin soğuk haddeleme imalat süreci (TI Strip, 2021), (b) Haddeleme yöntemiyle sac malzeme üretimi (Groover, 2020)

3. Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA; FMEA), sistemlerde, tasarımlarda, süreçlerde ve hizmetlerde meydana gelen hataları ortaya çıkarmadan önce, ortadan kaldırmak veya bunlarla ilişkili riski en aza indirmek amacıyla olası arıza türlerini belirlemek ve önceliklendirmek için yaygın olarak kullanılan bir mühendislik tekniğidir. HTEA, risk değerlendirme çalışmalarını desteklemek için tümevarım şeklinde bir yaklaşımdır ve HTEA'nın ilkesi, sistem boyunca potansiyel tehlikeleri belirlemek ve gerekli düzeltici eylemlere veya stratejilere öncelik vermektir. Kritiklik analizi için kullanıldığında, hata türleri ve etkileri yöntemi tercih edilir. Müşteri taleplerinin zamanında karşılanabilmesi için çeşitli mekanik proseslerin iyileştirilmesi gerekir ve böyle etkin bir analizin yapılması şarttır (Salvi ve Jindal, 2017). Çeşitli HTEA türleri (tasarım, üretim süreci, ekipman, sistem) ve farklı

uygulamalar (donanımdan yazılıma) için olmasına rağmen, bu yaklaşımın temel amacı, olası sorunların erken tanımlanmasını desteklemek ve kazalar meydana gelmeden önce bunları ele almaktır (Colli, 2015).

HTEA, değerlendirmenin hâlihazırda yapıldığı kapsamda olası riskleri mümkün olduğu kadar belirlemeye çalışır ve şiddetine (Ş), ortaya çıkmasına (O) ve saptanmasına (S) göre puanlanır. Aslında HTEA yöntemi, problemler ortaya çıktıktan sonra bir uygulama değil, olay öncesi bir işlem olarak planlanmıştır. Çoğu durumda bir sorunla karşılaşıldığında, sorunu ortadan kaldırmak için düzeltici eylemler tanımlamak mümkündür. HTEA yönteminde hatanın türü puanlanırken şiddet, ortaya çıkma ve saptanma olmak üzere üç faktörün çarpılmasından risk öncelik numarası (RÖS) adı verilen bir puan oluşturulur (Denklem 1).

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Şiddet (Ş)} \times \text{Ortaya Çıkma (O)} \times \text{Saptama (S)} \quad (1)$$

RÖS'nin düşük olması veya alınan önlemler ile düşürülmesi, hatanın önlenmesi, verimin artırılması ve rekabet şartlarının iyileşmesini gösterir. Denklemde RÖS'nin bileşenleri olan şiddet, ortaya çıkma ve saptama faktörleri, Tablo 1'de verilmiştir ve bahsedilen faktörler 1'den 10'a kadar sıralanmıştır. Bir risk için 10 puan, şiddet açısından çok tehlikeli olma (uyarısız tehlikeli),

ortaya çıkma açısından kesin oluşum (başarısızlık neredeyse kaçınılmazdır) ve saptanma açısından algılanamayan risk (mutlak belirsizlik) anlamına gelmektedir (Yousefi vd., 2018). Birçok kuruluşun benimsemiş olduğu ve RÖS değerinin 100'den büyük olduğu hatalar düzeltici önlem alınması gereken, risk taşıyan hatalar olarak kabul edilirler (Sönmez ve Unğan, 2016).

Tablo 1. RÖS bileşenleri olan şiddet, ortaya çıkma ve saptama faktörleri (Pillay ve Wang, 2003; Sönmez ve Unğan, 2016; Vinodh ve Santosh, 2012; Yousefi vd., 2018)

Derece	Şiddet (Ş)	Ortaya Çıkma (O)	Saptama (S)
10	Uyarısız tehlikeli		Hemen hemen imkânsız
9	Uyarılı tehlikeli	Çok yüksek	Çok zor
8	Çok yüksek		Zor
7	Yüksek	Yüksek	Çok düşük
6	Orta		Düşük
5	Düşük	Orta	Orta
4	Çok düşük		Ortadan yüksek
3	Önemsiz	Düşük	Yüksek
2	Çok önemsiz		Çok yüksek
1	Hata yok	Yok	Hemen hemen kesin

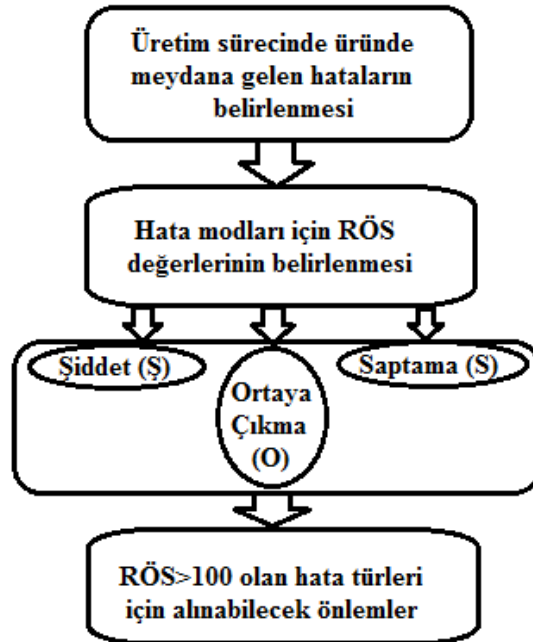
4. Üretim Sürecine HTEA Uygulaması

Bu çalışmada soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen sac malzemelerde üretim sürecinden kaynaklı meydana gelebilen ürün hataları araştırılmıştır. Belirlenen hatalar üründe kayıplara, üretimin aksamasına bazen de üretimin durmasına sebebiyet veren türden olabilmektedir. Dolayısıyla sonuç olarak üretim sürecinde ürün meydana gelen hatalar, ürün kalitesinin azalmasına sebebiyet vererek müşteri memnuniyetsizliğine yol açabilmektedir. Üründe meydana gelen hatalar; literatür kaynakları, internet kaynakları ve sac malzeme üreticilerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda elde edilmiştir (Andrei vd., 2010; Anita ve Singh, 2018; Steel JRV, 2021). Sac malzeme üretim sürecinde, üründe meydana gelen 19 adet hata belirlenmiştir. Bu hatalar şu şekildedir:

1. **Kenar çatlakları:** Sac malzemenin kalınlık kesiti boyunca meydana gelen belirgin çatlama veya kırılmalarıdır.
2. **Merdane izleri:** Sacın uzunluğu boyunca dağılmış noktalar, pullar veya şerit şeklinde çıkıntı ve çukurlardır.
3. **Boyuna çatlaklar:** Haddeleme yönü boyunca haddelenmiş parçanın yüzeyinde farklı uzunluk ve derinlikte çatlaklardır.
4. **Enine çatlaklar:** Haddeleme yönüne dik yönde M veya Z şeklinde, haddelenmiş parça yüzeyinde düzensiz çatlaklardır.
5. **Katlanma, kıvrılma:** Genellikle sac malzemenin bitişiğinde meydana gelen kırışıklıklara benzer hatalardır.
6. **Çizikler, oyuklar:** Sac malzeme yüzeyinde mekanik (çarpma, düşme, sürtünme vb.) etkilerden dolayı meydana gelen hasarlardır.
7. **Katlanmış kenarlar:** Kenar kalınlaşması, kıvrılması veya mekanik hasar şeklinde bir hata türüdür.

8. **Katlanmalar:** Haddeleme yönüne dik veya çapraz genişlik boyunca meydana gelen kıvrılma veya bükülme şeklindedir.
9. **Gevşek bobinler:** Sarılan bobinler arasında büyük boşluk veya gevşeklik bulunmaktadır.
10. **Dağınık desen görünümü:** Dekapaj sonrası yüzeyde dağınık parlaklıklarda desen oluşumu şeklindedir.
11. **Yara izleri:** Depolamadan kaynaklı malzeme yüzeyinde baskı şeklinde izlerdir.
12. **Paslanma:** Hava, su vb. belirli ortamlarda yüzey oksidasyonu sonucunda meydana gelen hatalardır.
13. **Bobin düzleşmesi:** Sarılı sac bobini elips şeklinde görünür ve yere temas eden kısmı düzleşme eğilimindedir.
14. **Az miktarda dekapaj (asitleme):** Asitle yıkanmamış veya az yıkanmış sac yüzeyinde siyah renkli oksit tabakası bulunmaktadır.
15. **Çok miktarda dekapaj (asitleme):** Asitle çok yıkanma yapıldığında gümüş beyazı görünüm ortada kalkar ve yüzeyde koyu siyah renk oluşumu meydana gelir.
16. **Sac bobininin kenarlarının fazla veya eksik etli olması:** Bobin kenarı, kesim sonrasında kötü kesim koşullarından dolayı normal ölçüsünden uzun veya kısadır.
17. **Dalgalık:** Sac hadde yönü boyunca dalgalı bir görünüm sergiler.
18. **Taşlama izleri:** Haddeleme yönü boyunca merdanenin sac yüzeyinde düzenli şerit şeklinde bıraktığı izlerdir.
19. **Siyah bant:** Hadde yönü doğrultusunda ve sac genişliğinin bir kısmında siyah renkli bir film tabaka uzunlamasına dağılır.

Yukarıda soğuk haddeleme ile sac malzeme üretim sürecinde olası hata türleri belirlenmiştir. Bu çalışma boyunca belirlenen ürün hataları doğrultusunda izlenen HTEA sürecine ait akış diyagramı Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. HTEA sürecine ait akış diyagramı

Soğuk haddeleme ile sac malzeme üretim sürecinde üründe meydana gelen hatalar belirlenmiştir. Bu hatalar için şiddet, ortaya çıkma ve saptama değerleri Tablo 1’den belirlenmiş ve her

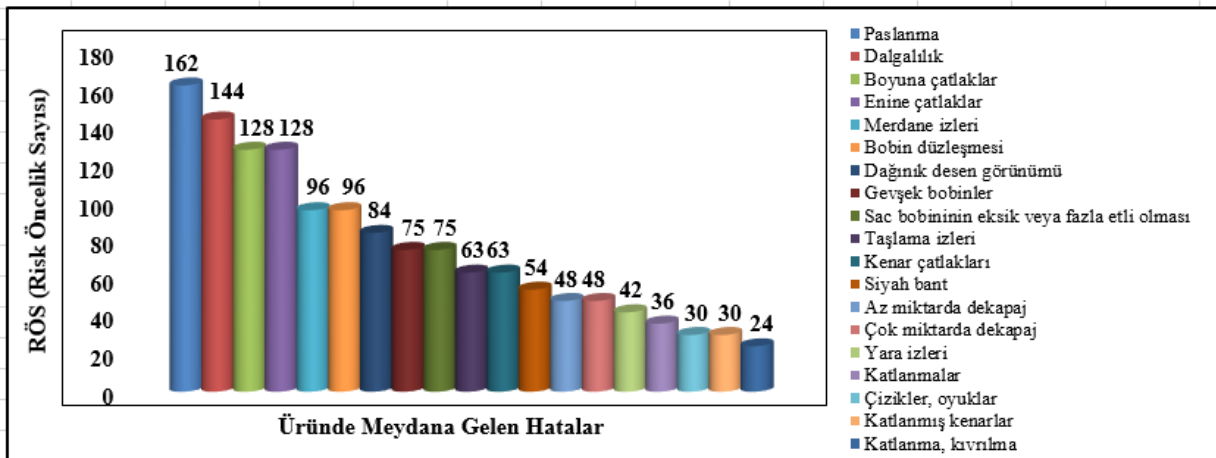
hata için RÖS değerleri hesaplanmıştır. Üretim sürecinde üründe meydana gelen hatalara ait RÖS değerlerinin hesaplandığı çizelge, Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Üretim sürecinde üründe meydana gelene hatalara ait RÖS değerlerinin hesaplandığı çizelge

Hata No	Hata Adı	Şiddet (Ş)	Ortaya Çıkma (O)	Saptama (S)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)
1	Kenar çatlakları	7	3	3	63
2	Merdane izleri	6	4	4	96
3	Boyuna çatlaklar	8	4	4	128
4	Enine çatlaklar	8	4	4	128
5	Katlanma, kıvrılma	4	3	2	24
6	Çizikler, oyuklar	5	3	2	30
7	Katlanmış kenarlar	5	3	2	30
8	Katlanmalar	6	3	2	36
9	Gevşek bobinler	5	5	3	75
10	Dağınık desen görünümü	7	4	3	84
11	Yara izleri	7	2	3	42
12	Paslanma	9	6	3	162
13	Bobin düzleşmesi	8	4	3	96
14	Az miktarda dekapaj	8	3	2	48
15	Çok miktarda dekapaj	8	3	2	48
16	Sac bobininin eksik veya fazla etli olması	5	5	3	75
17	Dalgahılık	9	4	4	144
18	Taşlama izleri	7	3	3	63
19	Siyah bant	6	3	3	54

Soğuk haddeleme ile sac malzeme üretim sürecinde, üründe meydana gelen hatalar için yapılan HTEA işleminden elde edilen RÖS değerlerine ait sıralama Şekil 3’de gösterilmektedir. Üründe meydana gelen hatalar değerlendirildiğinde paslanmanın ilk sırayı, sac malzeme yüzeyinde meydana gelen dalgalı görünümün ikinci sırayı, yine sac malzeme yüzeyinde meydana gelen enine

ve boyuna çatlakların aynı RÖS değerine sahip olmasından dolayı bu iki hatanın da üçüncü sırayı aldığı görülmektedir. RÖS>100 olan hatalarda bu dört hatadan ibarettir ve üründe bu türden meydana gelebilecek olası hatalara karşı düzeltici önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 3. HTEA işleminden elde edilen RÖS değerlerine ait sıralama

Sac malzeme yüzeyinde meydana gelebilecek paslanma hatalarına karşı sac malzemenin depolama süresinin uzun tutulmaması dolayısıyla ürünün satış potansiyeli değerlendirilerek üretim kararının verilmesi daha etkin şekilde bu sorunu ortadan kaldırmada etkili olabilir. Ayrıca depolama

alanının neminin yüksek olması da bu hatanın oluşumunu hızlandıracak olmasından ötürü depolama alanının neminin çok yüksek olmamasına dikkat edilmesi de yine sorunun ortadan kaldırılmasında etkili bir önlem olacaktır. Sac malzemedeki dalgalı görünüme karşı ise destek merdaneleri, yağlayıcı

malzemenin doğru kullanılması ve haddeye giren malzemenin şeklinin kontrolü ile bu hatanın azaltılmasında başarı sağlayacaktır. Sac malzemede meydana gelen enine ve boyuna çatlakların ise haddeleme işleminin malzeme dayanım sınırının altında gerilmelerin etkisi ile yapılması sayesinde bu hatalar da ortadan kaldırılacaktır.

5. Sonuç

Bu çalışmada soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen sac malzemelerde üretim sürecinden kaynaklı meydana gelebilen ürün hataları belirlenmiş ve bu hatalara yönelik HTEA yöntemi kullanılarak risk öncelik sayıları (RÖS) tespit edilmiştir. Üretim sürecinde yüksek riske sahip (RÖS>100) hataların oluşmasını engellemek veya azaltabilmek amacıyla alınması gereken önlemlere yönelik birtakım önerilerde bulunulmuştur.

- Soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen sac malzemelerde üretim sürecinden kaynaklı hatalar HTEA yöntemi ile analiz edildiğinde ilk sırayı paslanma, ikinci sırayı yüzeyde meydana gelen dalgalı görünüm ve üçüncü sırayı ise yüzeyde meydana gelen enine ve boyuna çatlakların aldığı görülmüştür.
- Soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen sac malzemelerde üretim sürecinden kaynaklı hatalar HTEA yöntemi ile analiz edildiğinde RÖS>100 olan ürün hataları da paslanma, dalgalı görünüm ve enine ve boyuna çatlakların olduğu sonucuna varılmıştır.
- Soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen sac malzemelerde üretim sürecinden kaynaklı hatalardan, paslanma problemine karşı depolama süresinin uzun tutulmaması ve depolama alanının neminin yüksek olmaması önerilmiştir. Dalgalı görünüme karşı ise destek merdaneleri, yağlayıcı malzemenin doğru kullanılması ve haddeye giren malzemenin şeklinin kontrolü ile hatanın azaltılabileceği önerilmiştir. Enine ve boyuna çatlakların ise haddeleme işleminin malzeme dayanım sınırı altındaki gerilmeler altında haddelenmesi sonucunda ortadan kaldırılacağı sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- Andrei, C., Bogdan, M., Georgian, N., Ionut, P., & Zorica, B. (2010). Cold rolling shape defects of stainless steel wide strips. In *European Conference of Chemical Engineering*, 10, 154-158.
- Anita, T., & Singh, L. (2018) "Study of rolling mill defects: A survey approach," *International Journal of Research Aeronautical and Mechanical Engineering*, 6(9), 170-175.
- Colli, A. (2015). Failure mode and effect analysis for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 804-809.
- Değirmenci, H. (2006) "Çelik sacların mekanik özelliklerinde ortaya çıkan değişimler ve nedenleri ile bunların şekillendirme prosesi üzerindeki etkileri," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Dwianda, Y. (2021). Failure mode and effect analysis (FMEA) of pneumatic system of cnc milling machine. *Journal Of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering*, 65(1), 14-18.

- Erdemir T.A.Ş. yassı ürün kataloğu (2021). <https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/yassi-urun-katalogu-eylul-2020-tr-4677.pdf>
- Groover, M. P. (2020). Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. John Wiley & Sons.
- Kaya, S. Ş., & Alaykırın, K. (2019). Hata türü ve etkileri analizi ve döküm sektöründe bir uygulama. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 76-89.
- Mhetre, R. S., & Dhake, R. J. (2012). Using failure mode effect analysis in precision sheet metal parts manufacturing company. *International Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 1(2), 302-311.
- Nguyen, T. L., Shu, M. H., & Hsu, B. M. (2016). Extended FMEA for sustainable manufacturing: An empirical study in the non-woven fabrics industry. *Sustainability*, 8(9), 939.
- Özakın, B. (2021). "Temper haddelemede mekanik özellik-yüzey pürüzlendirme ilişkisinin incelenmesi," Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun, Türkiye.
- Özakın, B., & Kurgan, N. (2019). Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin incelenmesine yönelik bir derleme çalışması. *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 1(2), 67-78.
- Parsana, T. S., & Patel, M. T. (2014). A case study: A process FMEA tool to enhance quality and efficiency of manufacturing industry. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 4(3), 145-152.
- Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(1), 69-85.
- Salvi, R. K., & Jindal, S. (2017). FMEA to enhance quality and efficiency of CNC machines: a case study in valve manufacturing industry. *Industrial Engineering Journal*, 10(5), 13-19.
- Sharma, A., & Yadava, V. (2018). Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials—A review. *Optics & Laser Technology*, 98, 264-280.
- Sönmez, Y., & Unğan, M. C. (2016). Hata türü etkileri analizi ve otomotiv parçaları üretiminde bir uygulama. *İşletme Bilimi Dergisi*, 5(2), 217-245.
- Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. Newyork, USA: Quality Press.
- Steel JRV. website. (2021). <https://www.steeljrv.com/>
- Suresh, A., Pramod, V. K., & Pramod, V. R. (2017). Failure mode effect analysis in a frying pan manufacturing industry. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(8), 1183-1189.
- Şimşir, F., Demir, H. İ., & Azdemir, S. (2018). Demir çelik sektöründe hibrid DEMATEL ve TOPSİS-ELECTRE yöntemleri ile hata türleri ve etkileri analizi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 22-34.
- TI Strip website. (2021). <http://www.tistrip.be/Front/c1-317/Production-Process.aspx>
- Vinodh, S., & Santhosh, D. (2012). Application of FMEA to an automotive leaf spring manufacturing organization. *The TQM Journal*.
- Wu, Z., Liu, W., & Nie, W. (2021). Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-28.
- Yousefi, S., Alizadeh, A., Hayati, J., & Bagheri, M. (2018). HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with undesirable outputs: a study of automotive parts industry in Iran. *Safety Science*, 102, 144-158.



Kombine Derin Öğrenme Tabanlı Epileptik Nöbet Teşhisi

Muhammet Varlı¹, Hakan Yılmaz^{2*}

¹ Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği ABD, Karabük, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3902-4504),

muhammetvarli329@gmail.com

^{2*} Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tıp Mühendisliği, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8553-388X), hakanyilmaz@karabuk.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013489)

ATIF/REFERENCE: Varlı, M., Yılmaz, H. (2021). Kombine Derin Öğrenme Tabanlı Epileptik Nöbet Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1210-1216.

Öz

Epilepsi hastalığı yaygın nörolojik hastalıklardan bir tanesi olarak öne çıkmaktadır. Epilepsi hastalığının teşhisinde elektroensefalografi (EEG) kullanılarak beynin sinirsel aktivitesi gözlemlenir ve bu da epilepsi hastalığının teşhisine olanak sağlar. Günümüzde genel olarak biyolojik sinyallerden hastalık teşhisinde klasik makine öğrenmesi yöntemleri sıklıkla kullanılmakla birlikte son yıllarda derin öğrenme yapıları ön plana çıkmaktadır. Derin öğrenme ağları sinyallerden özellik çıkarımına gerek duymaması, özellikler için ek bir çaba gerektirmemesi, insan kaynaklı hesaplama hatalarının önüne geçmesi ve zaman kaybının önüne geçmesi açısından klasik makine öğrenmesi yöntemlerine göre daha avantajlı bir konuma gelmektedir. Bu çalışmada, zaman serisi EEG sinyalini, zaman-frekans bileşenlerini temsil edecek görüntüleri ve ham EEG sinyallerinin sayısal değerlerini kullanarak epilepsi nöbet aktivitesini otomatik bir şekilde tespit eden kombine bir derin öğrenme modeli üzerine çalışılmıştır. Çalışmada Bonn Üniversitesinin halka açık epilepsi veri seti kullanılmıştır. Veri seti sağlıklı ve epilepsi hastası insanlardan kaydedilen A,B,C,D,E şeklinde etiketlenmiş EEG kayıtlarını içermektedir. Bu çalışmada EEG sinyallerinin zaman dizisini ve zamana bağlı EEG sinyallerinin zaman-frekans-görüntü dönüşümlerini kullanarak kombine bir model ortaya koyulmuştur. Sinyalleri görüntülere dönüştürmede CWT ve STFT yöntemleri kullanılmıştır. Oluşturulan modelin CNN girdilerinde STFT görüntüleri kullanıldığında ikili sınıflandırma için %99.47 doğruluk oranı elde edilmiştir. CWT görüntüleri ile ise %99.27 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Elde edilen model, EEG verilerinde epilepsi nöbet aktivitesinin olup olmadığını yüksek başarı ile tespit edebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Epilepsi, Evrişimli Sinir Ağı, Yinelenen Sinir Ağı, EEG, Epileptik nöbet teşhisi

Combined Deep Learning Based Epileptic Seizure Diagnosis

Abstract

Epilepsy stands out as one of the common neurological diseases. In the diagnosis of epilepsy, the neural activity of the brain is observed using electroencephalography (EEG), which allows the diagnosis of epilepsy disease. Although classical machine learning methods are frequently used in the diagnosis of diseases from biological signals, deep learning structures have come to the fore in recent years. Deep learning networks are in a more advantageous position than classical machine learning methods in terms of not requiring feature extraction from signals, requiring no additional effort for features, preventing human-induced computational errors, and preventing time loss. In this study, a combined deep learning model that automatically detects epileptic seizure activity using images representing the time-frequency components of the time domain EEG signal and numerical values of the raw EEG signals was studied. The public epilepsy dataset of the University of Bonn was used in the study. The dataset includes EEG recordings labelled as A, B, C, D, E recorded from healthy and epileptic people. In this study, we made a combined model using the time sequence of EEG signals and time-frequency-image transformations of time-dependent EEG signals. We used CWT and STFT to convert signals to images. We achieved 99.47% accuracy for binary classification when we used STFT images in the CNN inputs of our model. With CWT images, we performed an accuracy rate of 99.27%. The model obtained can detect with high success whether there is epileptic seizure activity in EEG data.

Keywords: Epilepsy, Convolutional Neural Network, Recurrent Neural Network, EEG, Epileptic Seizure Diagnosis

* Sorumlu Yazar: hakanyilmaz@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Epilepsi hastalığı yaklaşık olarak dünya genelinde 70 milyondan çok kişiyi etkilemektedir (Singh & Trevick, 2016). Bu kadar çok sayıda insanı etkisi altına almasından dolayı epilepsi, dünya çapında oldukça fazla insanın muzdarip olduğu bir nörolojik hastalık olarak bilinmektedir. Epilepsi beyin olağan elektriksel aktivitesi dışında sinir hücrelerinde meydana gelen anormal elektriksel boşalmalar sonucu ortaya çıkabilen kronik bir rahatsızlıktır (Beghi, 2020). Epilepsi nöbetleri aniden meydana gelebilir ve hastaların günlük yaşantılarını olumsuz yönde etkiler. EEG beyin elektriksel aktivitesinin gözlemlenmesinde kullanılan invaziv olmayan klinik bir tanı yöntemi olarak kabul edilir. EEG sinyalleri düşük uzamsal çözünürlüğe sahip olmasının aksine yüksek zamansal çözünürlüğe sahiptir ve bu da sinyal analizi için önemli bir avantaj sağlamaktadır (van Mierlo, Vorderwülbecke, Staljanssens, Seeck, & Vulliemoz, 2020). EEG sinyallerinin tipik olarak 0-63 Hz. arasında bilgi taşıdığı düşünülebilir. EEG sinyallerinin frekans bantları genellikle Delta (0,1–4 Hz veya 0,5–4 Hz), Teta (4–8 Hz), Alfa (8–14 Hz), Beta (14–30 Hz), Gama (30–63 Hz) olarak kabul görür (Bajaj, 2020). EEG verileri ile epilepsi, otizm, parkinson gibi birçok nörolojik rahatsızlığın tespiti mümkündür. Nörolojik rahatsızlıkların otomatik teşhisi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur (Brian et al., 2021; Shi, Wang, Wang, Liu, & Yan, 2019; Xu et al., 2020). Epilepsi tespitinde kullanılmak üzere birçok açık kaynak veri seti mevcuttur (Siddiqui, Morales-Menendez, Huang, & Hussain, 2020). Otomatik epilepsi tespitinde genel olarak klasik makine öğrenmesi yaklaşımı ve derin öğrenme yaklaşımı olmak üzere iki tip yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşımda EEG sinyallerinden çeşitli istatistiksel hesaplamalar yapılarak özellikler çıkarılır. Bu istatistiksel parametrelere genel olarak katsayıların mutlak değerlerinin ortalaması, katsayıların mutlak değerlerinin maksimumu ve minimumu, katsayıların kuvvetlerinin ortalaması, standart sapma, varyans, çarpıklık gibi parametreler örnek verilebilir (Hussain, 2018). Birinci yöntem ile yapılan daha önceki çalışmalardan Rao ve arkadaşları (2019) Random Forest (RF) sınıflandırıcı modeli (Ravi Kumar & Srinivasa Rao, 2019) 94.1% doğruluk oranında başarı sağlamıştır. Shoka ve arkadaşları (2019) Support Vector Machine (SVM) tabanlı bir sistem kullanmıştır ve 98% doğruluk oranına ulaşmıştır (Shoka, Dessouky, El-Sherbeny, & El-Sayed, 2019). Maryati ve arkadaşları (2019) yine SVM sınıflandırıcı kullanarak oluşturduğu modelde 91.4% doğruluk oranı elde etmiştir (Dwi Saputro et al., 2019). İkinci yaklaşımda EEG sinyallerinden manuel özellik çıkarımı yapılmaksızın bir derin öğrenme modeli ile otomatik bir şekilde özellik çıkarımı sağlanmaktadır. Derin öğrenme yaklaşımı klasik makine öğrenmesi yaklaşımına göre daha hızlı, hesaplama kaynaklı hatalardan arınmış bir sistem ortaya koymaktadır. Doğruluk değerleri ise son yıllardaki geliştirilen algoritma ve modeller ile kayda değer bir oranda yükselmiştir. Şekil 1’de iki yaklaşım özetlenmiştir.



Şekil 1 Epilepsi tespitinde sınıflandırma yaklaşımları.

Bu çalışmada derin öğrenme modeli ile oluşturulan model üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışma içerisinde iki tane ayrı model oluşturulmuş ve bu modeller çıktı katmanından önce kombine edilerek birleştirilmiştir. Birinci model 2D Convolutional Neural Network (2D-CNN), diğeri ise Recurrent Neural Network (RNN) olarak ele alınmıştır. 2D-CNN için girdi verileri sinyallerin görüntüleri olarak belirlenmekle birlikte RNN için girdi verileri sinyalin ham yani işlenmemiş hali olarak belirlenmiştir. 2D-CNN yapısının girdisi olan verileri elde etmek için sinyallere çeşitli dönüşümler uygulanmıştır. Sinyallere Continuous wavelet transformation (CWT) uygulanması ile scalogram görüntüleri, Short-term Fourier transform (STFT) uygulanması ile spectrogram görüntüleri elde edilmiştir. Yapılan tüm çalışmada hem scalogram hem de spectrogram görüntüleri ayrı ayrı kullanılmıştır. RNN girdisi olarak ise sinyal değerleri normalize edilerek kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti

Veri seti olarak Bonn Üniversitesi'nin sunmuş olduğu EEG kayıtlarını kullanılmıştır (Andrzejak et al., 2001). Veri seti A,B,C,D,E olmak üzere 5 set içermektedir. Her bir dizi toplam 23.6 saniye olmak üzere tek kanallı 100 EEG sinyal kaydından oluşmaktadır. EEG kayıtları her türlü kas hareketinden kaynaklı gürültülerden arındırılmıştır. A seti 5 sağlıklı kişiden gözleri açık bir şekilde elde edilmiştir. B seti yine aynı 5 sağlıklı kişiden gözleri kapalı bir şekilde elde edilmiştir. C,D,E setleri ise 5 epilepsi hastasından elde edilen kayıtları içermektedir. C seti epilepsi hastalarına ait nöbet öncesi olup zıt hemisferik bölgenin hipokampal yarım küresinden kayıtlar içermektedir. D seti epilepsi hastası olup nöbet öncesi epileptik bölgeden kayıtlar içermektedir. E seti ise epilepsi hastalarının epilepsi nöbeti geçirirken elde edilen kayıtları içermektedir. EEG verilerinin örnekleme frekansı 173.61 Hz.'dir. Veri seti için özet bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Veri seti bilgileri.

A	B	C	D	E
Sağlıklı	Sağlıklı	Epilepsi Hastası	Epilepsi Hastası	Epilepsi Hastası
100 Tane	100 Tane	100 Tane	100 Tane	100 Tane
23.6 sn.	23.6 sn.	23.6 sn.	23.6 sn.	23.6 sn.
Gözler Açık	Gözler Kapalı	Nöbet Öncesi Hipokampal Yarım Küreden	Nöbet Öncesi Epilepsi Bölgesi Üzerinden	Nöbet Anında

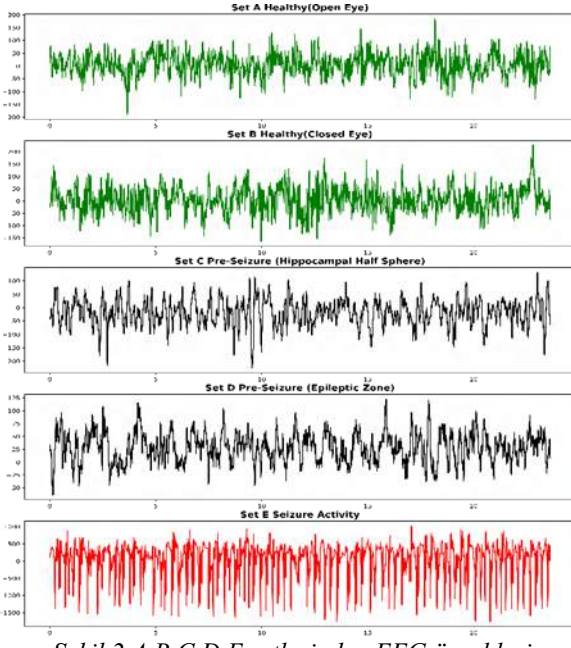
2.2. Veri Ön İşleme

Veri setinde her bir EEG kaydı 4097 veri noktasından oluşmaktadır. Şekil 2’de her bir setten birer EEG kaydının örnekleri gösterilmiştir. Veri sayısını çoğaltmak için veriler eşit parçalara bölünmüştür. 16 eşit parçaya bölmek için son veri noktaları silinerek 4096 veri noktası üzerinden işlem yapılmıştır ve toplamda her bir set için 1600 gözlem oluşturulmuştur. Böylece 8000 tane gözlem elde edilmiştir. Oluşturulan modelde RNN kısmı için kullanılacak ham sinyaller için normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Bu işlemin asıl amacı veri setindeki olası

aykırı değerlerden kaynaklı olan olumsuz etkileri önleyebilmektir. EEG sinyalleriyle zaman alanından zaman-frekans alanına geçiş yaparak 2D-CNN yapısı için gerekli olan girdi görüntüleri elde edilmiştir. Dönüşümler için Continuous Wavelet Transformation (CWT) ve Short-Term Fourier Transform (STFT) olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır.

2.3. Continuous Wavelet Transformation (CWT)

Wavelet Transform STFT'nin pencere boyutu seçiminden kaynaklanan çözünürlük kaybını azaltmayı amaçlamaktadır (Rajoub, 2020). CWT'de ana dalgacık denilen bir pencereleme fonksiyonu kullanılır. Bu pencereleme fonksiyonunun STFT'de kullanılan pencereleme fonksiyonundan farklılığı ölçeklenebilir olmasıdır.



Şekil 2 A,B,C,D,E setlerinden EEG örnekleri.

CWT yapılırken dalgacık fonksiyonu zaman içerisinde kaydırılır ve Denklem (1)'de gösterildiği gibi ölçeklendirilir.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in R, \quad a \neq 0 \quad (1)$$

Burada a parametresi ölçeklendirme, b parametresi ise ötelemeyi yani kaydırmayı ifade eder. Düşük ölçek parametreleri sinyalleri sıkıştırırken yüksek ölçek parametreleri sinyalleri genişletir. Yüksek ölçek parametreleri düşük frekansları yakalarken, düşük ölçek parametreleri yüksek frekansları yakalar. CWT analiz edilecek olan sinyalin, dalgacık fonksiyonunun karmaşık eşleniği ile integrali şeklinde Denklem (2)'de gösterildiği gibi tanımlanır. Burada f(t) zamana bağlı sinyali ifade etmektedir.

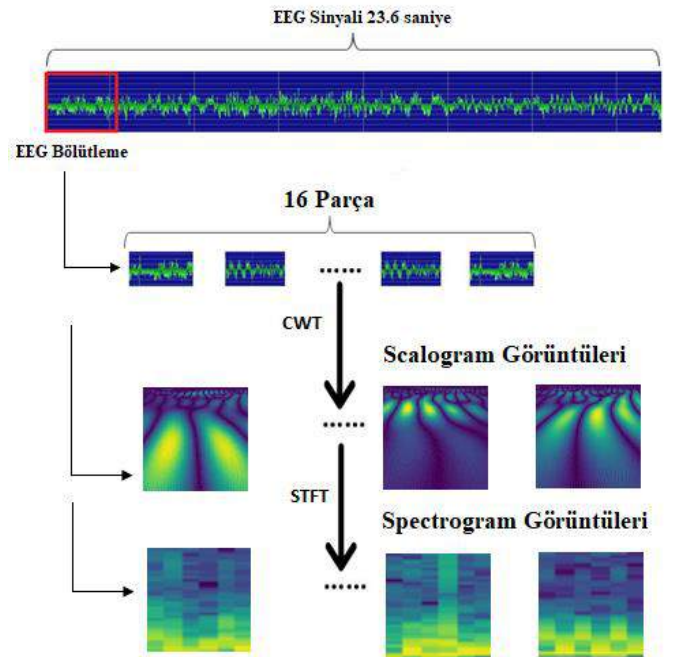
$$CWT\{f(t), a, b\} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt \quad (2)$$

EEG sinyalleri için düşük frekanstaki bilgilerde önemlidir. Çünkü EEG sinyallerinin Delta bandı oldukça düşük frekanslar içerir. Bu çalışmada ana dalgacık fonksiyonu olarak düşük frekanslarda etkili olan Morlet dalgacık fonksiyonu kullanılmıştır (Bajaj, 2020). CWT dönüşümü yaptıktan sonra katsayılar ve ölçek parametrelerine göre sinyalin scalogram diye adlandırılan görüntüsü oluşturulur. A,B,C,D,E setlerinin her birisi için 1600'er tane görüntü oluşturulmuştur. Toplamda 8000 adet scalogram

görüntüsü elde edilmiştir. Oluşan scalogram görüntülerinin her biri 77x75 boyutlarındadır.

2.4. Short-Term Fourier transform (STFT)

Fourier Transform (FT) zamana bağlı sinyalleri frekans alanına dönüştürmek için kullanılmaktadır. Yani sinyallerin spektral analizlerine olanak sağlar. FT sinyali sonsuz sayıda sinüs/kosinüs dalgasına ayrıştırılabilir. Fakat FT'de zaman bilgisi kaybolur sadece sinyalin genlik ve frekansı elde edilir. Yani olayın tam olarak nerede olduğu bilinemez. FT sinyalin aniden patlamaları ve süreksizliği ile mücadele edemez. FT'nin bu dezavantajlarının önüne geçebilmek adına STFT geliştirilmiştir. FT durağan olmayan sinyalleri analiz etmek için uygun bir yöntem değildir (Kıymık, Güler, Dizibüyük, & Akın, 2005). STFT, FT'de yaşanan problemlerin önüne geçebilmek adına belirli bir zamanda sinyalin sadece küçük bir bölümünü analiz ederek hareket eder. Durağan olmayan sinyaller küçük parçalara ayrılır ve bu parçaların art arda geldiği düşünülür. Böylece her bir parçaya FT uygulanır. Bu parçalar bir pencereleme fonksiyonu uygulayarak elde edilir. Bu yöntemde sinyal pencereleme denir. STFT ile zamana bağlı sinyaller frekans ve zaman ekseninde ifade edilebilir. STFT'de pencere fonksiyonu seçiminde çözünürlük ikilemi ortaya çıkar. Pencere fonksiyonu seçilirken ya zaman ya da frekans çözünürlüğünden vazgeçilir. STFT'de pencereleme fonksiyonu olarak Hamming kullanılmıştır. STFT sonrasında spectrogram görüntüleri elde edilir. Spectrogram bir sinyalin zamanla değişen spektrumunun görsel temsidir. A,B,C,D,E setlerinin her birisi için 1600'er tane görüntü oluşturulmuştur. Toplamda 8000 adet spectrogram görüntüsü elde edilmiştir. Oluşan spectrogram görüntülerinin her biri 37x38 boyutlarındadır. Sinyal görüntülerinin elde edildiği CWT ve STFT yöntemlerinin 4096 veri noktasına sahip her bir EEG kaydı için nasıl işleme alındığı ile ilgili olarak Şekil 3'te özet bir diyagram görselleştirilmiştir. 4096 veri noktası 16 eş parçaya bölünmüştür. Bölünmüş bir EEG sinyali içerisinde toplam 256 adet veri kaydı bulundurmaktadır. Bu sayı her iki yöntem için aynıdır.



Şekil 3 EEG sinyal dönüşümleri.

2.5. Convolutional Neural Network (CNN)

CNN tek, iki ya da üç boyutlu verilerde kullanılabilen bir derin öğrenme ağıdır. CNN genel olarak iki boyutlu verilerde özellikle görüntülerde kullanılmak için oluşturulmuştur (Indolia, Goswami, Mishra, & Asopa, 2018). CNN yapıları içerisinde çeşitli katmanlar barındırmaktadır.

Convolution Katmanı: Bu katman CNN yapısı için oldukça önemlidir. Bu katman görüntüdeki özelliklerin tespit edilmesini sağlar. Görüntü verileri içerisinde düşük ya da yüksek dereceli özellikler barındırır. Bu özelliklerin algılanması için görüntüye filtre veya kernel adı verilen örnek bir matris uygulanır. Filtre matrisinin boyutları genellikle 3x3, 5x5, 7x7 gibi değerlerdedir. Filtre matrisi görüntünün sol üst köşesinden başlayarak görüntü boyunca kaydırılarak geçer. Filtre matrisi görüntü boyunca ilerlerken görüntü ve filtre matrisi değerleri indislerine göre birbirleri ile çarpılır ve elde edilen sonuçlar toplanır. Daha sonra toplam sonuç bir çıktı matrisine kaydedilir. Bu işlem tüm görüntü boyunca aynı şekilde devam ettirilir. Çıktı matrisine kaydedilen değerler sonucu oluşan matrise Feature Map denir. Eğer görüntü üç kanallı bir görüntü ise örnek olarak RGB bir görüntü ise tüm işlemler her bir kanal için yapılır ve sonuçlar bias değeri ile toplandıktan sonra çıktı matrisi elde edilir. Bu işleme Convolution denir. Denklem (3)'te Convolution işlemi gösterilmiştir. Giriş görüntüsü f ile ifade edilirken, filtre h ile ifade edilmiştir.

$$G[m, n] = (f * h)[m, n]$$

$$G[m, n] = \sum_j \sum_k h[j, k] f[m - j, n - k] \quad (3)$$

Batch Normalization (BN) Katmanı: Derin öğrenme yapılarında her bir katman bir sonraki katmanın girdisi şeklinde çalışır. Bir katmandaki öğrenme işlemi bitmeden bir diğer katmanda öğrenme işlemi başlamaz. Normalizasyon işlemi ile girdi değerleri standartlaştırılır. Ancak başta yapılan normalizasyon işleminden ara katmanlar yararlanamaz. Bu yüzden eğitim daha yavaş, daha kararsız ya da gradyan kaybolması öğrenmenin minimum düzeyde gerçekleşmesi gibi problemlerde karşılaşılabılır (Alzubaidi et al., 2021). Tüm bu sorunların önüne geçmek adına BN kullanılır. BN uygulamanın model skorlarına olumlu yönde etkisi olduğu bilinmektedir (Alzubaidi et al., 2021).

Aktivasyon Katmanı: Bu katmana doğrusal olmayan katman da denilebilir. Bu katmanda doğrusal olmayan sigmoid, tanh, ReLU vb. aktivasyon fonksiyonları kullanılır. Aktivasyon fonksiyonları bir nöronun gelen girişe nasıl bir işlem uygulaması gerektiğini belirler ve böylece çıkışı oluşturur. Denklem (4)'te tanh, denklem (5)'te sigmoid ve denklem (6)'da ReLU aktivasyon fonksiyonunun denklemleri gösterilmiştir.

$$\text{Tanh}(x) = \tanh(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)} \quad (4)$$

$$\text{Sigmoid}(x) = \sigma(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (5)$$

$$\text{ReLU}(x) = (x)^+ = \max(0, x) \quad (6)$$

Pooling Katmanı: Pooling Katmanı Convolution Katmanı ile benzer şekilde çalışır ve görüntü boyutlarını küçültürken verilerin hesaplanma yükünü azaltmaktadır (Indolia et al., 2018). Max Pooling ve Average Pooling olmak üzere iki çeşit pooling vardır. Max Pooling filtrenin/kernelin gezdiği kısmın maksimum

değerini alır ve çıktı matrisinde depolar. Average Pooling ise filtrenin/kernelin kapsadığı kısmın ortalamasını alarak çıktı matrisinde depolar. Bu işlemi her iki pooling yöntemi de görüntü boyunca tekrarlayarak çıktı matrisini oluşturur. Max Pooling Katmanı ayrıca bir gürültü bastırıcı olarak çalışmaktadır. Gürültülü kısımlar tamamen ortadan kaldırılabilir. Bu yönü ile diğer pooling yönteminden daha iyi performans gösterebilir (Indolia et al., 2018).

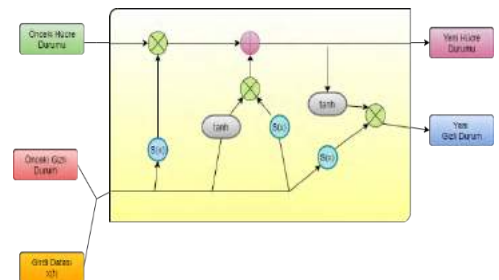
Dropout Katmanı: Bu katman model eğitimi sırasında rastgele bir şekilde belirlenen oran miktarınca nöron birimlerinin in-aktif edilerek kullanılmamasını sağlamaktadır. Dropout Katmanı hem modelin aşırı öğrenmesini (over-fitting) önleyebilir hem de modelin iş yükünü azaltır (Gu et al., 2018).

Flatten Katmanı: Bu katman sayesinde veriler tek boyutlu bir dizi haline getirilir. Bundan sonra gelecek olan Fully Connected Katmanı'nın giriş verisi Flatten sayesinde hazırlanmış olur.

Fully Connected (FC) Katmanı: Flatten ile tek boyutlu dizi şekline getirilen veriler FC'nin giriş verisidir. FC'de her bir giriş tüm nöronlar ile bağlıdır.

2.6. Recurrent Neural Network (RNN)

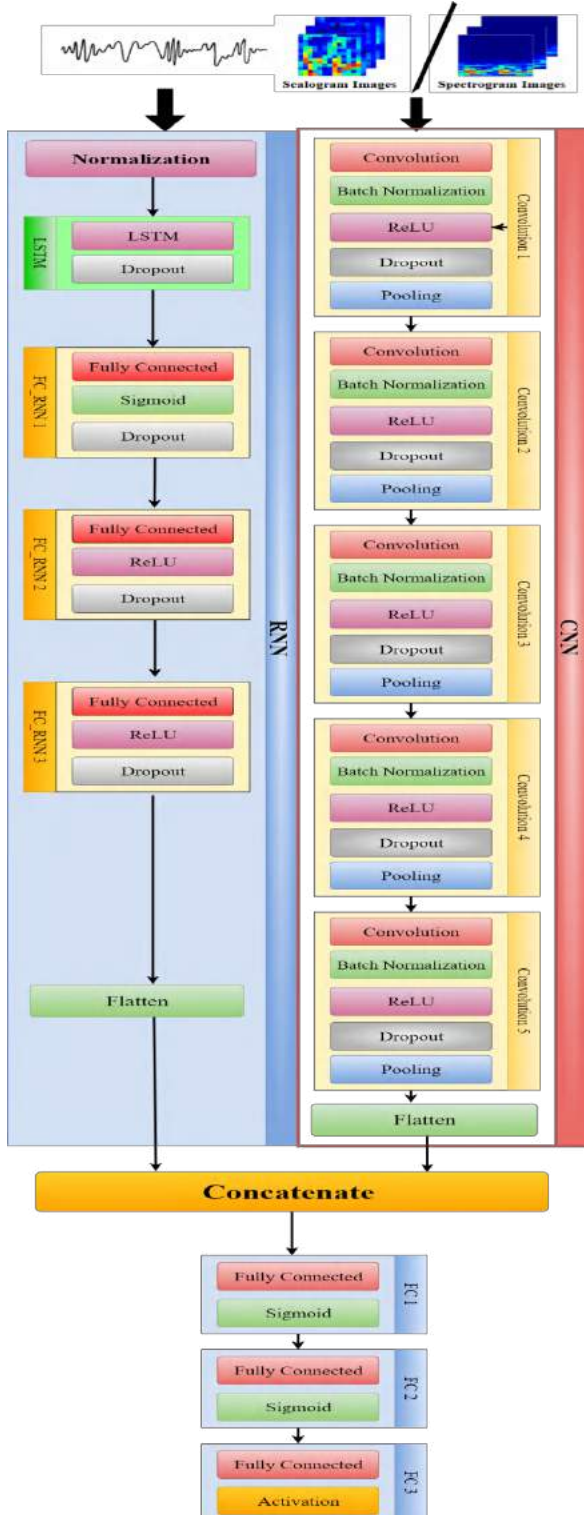
RNN zaman serileri, doğal dil işleme ve sıralı veriler için kullanılmaktadır (Alzubaidi et al., 2021). Normalde klasik derin öğrenme ağlarında giriş ve çıkışlar birbirinden bağımsız bir şekildedir. Ancak RNN'lerde girdiler birbiriyle ilişkilidir. Bir önceki katmandaki girdilerden alınan çıktı hafızaya alınır. Yani RNN'lerin kısa vadeli bir hafızası vardır. Diğer katmanda girdiler ile bir girdi olarak kullanılır. RNN'de her çıkış bir önceki adıma bağımlıdır. Bir önceki girdiler sonraki katmanın çıktısını etkilemektedir. Ancak RNN'nin bu kısa vadeli hafızası bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca geriye yayılma gradyan yok olması yani öğrenmenin minimum düzeyde kalmasına sebep olabilmektedir (Alzubaidi et al., 2021). Long Short-Term Memory (LSTM), RNN'nin bu eksikliklerinin önüne geçmek için ortaya çıkmıştır. RNN'de bir tane tanh katmanı varken LSTM'de Hafıza Hücresi, Unutma Kapısı, Giriş Kapısı ve Çıkış Kapısı olmak üzere dört farklı katman vardır (Chen, 2016). Hafıza Hücresi unutulmaması gereken önemli bilgiyi hücreler boyunca taşıyan iletim hattına ve ağ hafızasına verilen isimdir. Bu yöntem ile short-term memory probleminin önüne geçilir. Unutma Kapısı bir sigmoid fonksiyonu vasıtasıyla hangi bilgilerin hafızada tutulacağı ve hangi bilgilerin unutulacağına karar verir. Hafıza Hücresi'nin, önceki ve sonraki bilginin sigmoid işleminin sonucu ve tanh işlemi sonucu çarpılarak güncellenip güncellenmeyeceğine Giriş Kapısı karar verir. Çıkış Kapısı, sonraki hücrenin girişini belirlemek için kullanılır. Çıkış Kapısı önceki bilgi ve mevcut girişin sigmoid fonksiyonu sonucu ile Hafıza Hücresinde var olan bilginin tanh fonksiyonundaki sonucu çarpılarak bir sonraki hücrenin giriş bilgilerine karar verir. Şekil 4'te LSTM'in iç yapısındaki bileşenler gösterilmiştir.



Şekil 4 LSTM blok diyagramı.

2.7. 2D-CNN + RNN(LSTM) Kombine Modeli

Bu çalışmada CNN ve RNN yapılarının ikisi de kullanılarak kombine bir sistem oluşturulmuştur. CNN bloğunda 5 katman CNN kullanılmıştır. RNN bloğu için LSTM yapısı kullanılmıştır. Daha sonra her iki blok düzeltilerle birleştirilmiştir. Birleştirildikten sonra model sanki tek bir yapı gibi 3 tane FC katmanı eklenmiştir. Son olarak 2'li sınıflandırma işlemi Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile model çıktısı elde edilmiştir. Model blok diyagramı Şekil 5'te gösterilmiştir. Modelde Dropout oranı olarak 0.2 kullanılmıştır. Optimizer olarak Adam kullanılmıştır. Batch_size olarak ise 4 seçilmiştir.



Şekil 5 Model blok diyagramı.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada EEG sinyalleri zaman-frekans görüntü dönüşümü ile sinyallerin frekans alanındaki görüntüleri ve EEG sinyallerinin kendisi kullanılarak kombine bir sistem oluşturulmuştur. Model, A, B, C, D setlerini epilepsi nöbeti geçirmediği durum, E setini ise epilepsi nöbet aktivitesi olarak tanımlayarak başarılı bir şekilde sınıflandırmıştır. Modelimizin başarısı çeşitli değerlendirme skorları ile değerlendirilmiştir. Modelin CNN girdisi için spectrogram ve scalogram verileri ayrı ayrı denenmiş ve değerlendirilmiştir. Modelimiz, CNN ve LSTM olmak üzere iki farklı derin öğrenme yapısını bir araya getirerek kabul gören sonuçlar alması açısından oldukça önemlidir. Tablo 2'de modelimizin değerlendirme sonuçları verilmiştir.

Tablo 2 Model performans sonuçları.

Yöntem	Accuracy (%)	F ₁ - Score (%)
2D CNN CWT + LSTM	99.27	99.27
2D CNN STFT + LSTM	99.47	99.48

Yöntem	Sensitivity (%)	Specificity (%)
2D CNN CWT + LSTM	99.27	98.04
2D CNN STFT + LSTM	99.47	99.45

Yöntem	MCC (%)	ROC AUC (%)
2D CNN CWT + LSTM	97.73	99.94
2D CNN STFT + LSTM	98.37	99.97

Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere geliştirdiğimiz modellerden 2D CNN STFT + LSTM yöntemi yani CNN girdi verileri olarak spectrogram görüntülerini kullandığımız model 99.47% doğruluk oranına ulaşmıştır. Diğer yöntem olan 2D CNN CWT + LSTM modelimiz ise 99.27% doğruluk oranına ulaşmıştır. Diğer performans değerlendirme skorlarımızdan da anlaşıldığı üzere 2D CNN STFT + LSTM modeli daha başarılı sonuçlar almıştır. 2D CNN CWT + LSTM modeli 6400 epilepsi nöbet aktivitesi olmayan gözlemin 20 tanesini nöbet aktivitesi var olarak ve 1600 nöbet aktivitesi olan gözlemin 38 tanesini nöbet aktivitesi yok olarak sınıflandırmıştır. 2D CNN STFT + LSTM modeli 6400 epilepsi nöbet aktivitesi olmayan gözlemin 33 tanesini nöbet aktivitesi var olarak ve 1600 nöbet aktivitesi olan gözlemin 9 tanesini nöbet aktivitesi yok olarak sınıflandırmıştır.

Özellikle epilepsi olmak üzere birçok sinirsel hastalığın teşhisinde EEG sinyallerinden faydalanılmaktadır. Günümüzde makine öğrenmesi ve derin öğrenme yaklaşımlarının yaygınlaşması ve gelişmesinden kaynaklı sinyal işleme, sinyallerden özellik çıkarımı, sinyallerden otomatik hastalık tayini gibi birçok ilerleme meydana gelmiştir. Bu çalışmada epilepsi hastalığı üzerine otomatik nöbet tespiti üzerine 2D CNN CWT + LSTM ve 2D CNN STFT + LSTM modelleri geliştirilmiştir. Alınan sonuçlar neticesinde klinik açıdan önemli bir başarı elde edilmiştir. 2D CNN CWT + LSTM için sinyal zaman-frekans-görüntü dönüşümlerinden birisi olan CWT ile scalogram görüntüleri üzerine çalışılmıştır. 2D CNN STFT +

LSTM için sinyal zaman-frekans-görüntü dönüşümlerinden birisi olan STFT ile spectrogram görüntüleri üzerine çalışılmıştır. Literatürde bu tarz sinyal görüntüsü ile çalışılmış örnekler mevcuttur. Çalışma kapsamında sadece sinyalin frekans alanı görüntüsü ile CNN yöntemi kullanılmayıp aynı zamanda sinyalin ham zaman dizisi halini bir RNN çeşidi olan LSTM yöntemi ile kullanılarak kombine bir model oluşturulmuştur. Modelimiz ikili sınıflandırma için oldukça tatmin edici sonuçlar elde etmiştir. Tablo 3'te daha önceden Bonn veri seti üzerine çalışılmış derin öğrenme ve makine öğrenmesi yaklaşımlarına ait performans değerlendirmelerinin önerdiğimiz model ile kıyaslaması mevcuttur.

Tablo 3 Bonn veri seti üzerine daha önceden yapılan diğer çalışmalar ile önerilen yöntemin karşılaştırılması.

Çalışma	Yıl	Yöntem	Accuracy (%)
(Sharmila & Geethanjali, 2016)	2016	DWT Based k-NN Classifiers	97.10
(Sharmila & Geethanjali, 2016)	2016	DWT Based Naive Bayes Classifiers	95.85
(MURSALIN, ZHANG, CHEN, & CHAWLA, 2017)	2017	Random Forest and Correlation Based Feature Selection	97.40
(Jaiswal & Banka, 2017)	2017	ANN and LNBP	98.72
(Jaiswal & Banka, 2017)	2017	1D-LGP +ANN	98.65
(ZHAO ET AL., 2020)	2020	1D-CNN	98.76
(SHEORAN, RATHEE, & SAİNİ, 2020)	2020	BEMD and DML on Scalogram	99.08
(WANG ET AL., 2021)	2021	Bi-LSTM-AM and 1D-CNN	92.07
	-	Önerilen 2D CNN STFT + LSTM	99.47
	-	Önerilen 2D CNN CWT + LSTM	99.27

Çalışma	Yıl	Yöntem	Sensitivity (%)
(Sharmila & Geethanjali, 2016)	2016	DWT Based k-NN Classifiers	93.62
(Sharmila & Geethanjali, 2016)	2016	DWT Based Naive Bayes Classifiers	89.92
(MURSALIN ET AL., 2017)	2017	Random Forest and Correlation Based Feature Selection	97.40
(Jaiswal & Banka, 2017)	2017	ANN and LNBP	98.30
(Jaiswal & Banka, 2017)	2017	1D-LGP +ANN	98.44
	-	Önerilen 2D CNN STFT + LSTM	99.47
	-	Önerilen 2D CNN CWT + LSTM	99.27

Çalışma	Yıl	Yöntem	Specificity (%)
(Sharmila & Geethanjali, 2016)	2016	DWT Based k-NN Classifiers	97.94
(Sharmila & Geethanjali, 2016)	2016	DWT Based Naive Bayes Classifiers	97.31
(MURSALIN ET AL., 2017)	2017	Random Forest and Correlation Based Feature Selection	97.50
(Jaiswal & Banka, 2017)	2017	ANN and LNBP	98.82
(Jaiswal & Banka, 2017)	2017	1D-LGP +ANN	98.70
	-	Önerilen 2D CNN STFT + LSTM	99.45
	-	Önerilen 2D CNN CWT + LSTM	98.04

4. Sonuç

Bu çalışma da kullanılan yöntemler ile epilepsi nöbet aktivitesi yüksek doğruluk oranı ile tespit edilmiştir. Halka açık veri seti olan Bonn veri seti üzerinde kurulan model literatürde bulunan diğer çalışmalar ile rekabet edebilir sonuçlar almıştır. Çalışmamız, literatüre kazandırdığı yaklaşım ve aldığı yüksek skorlar açısından önemlidir. Çalışmamızda spectrogram görüntüleri ile alınan sonuçların scalogram görüntüleri ile alınan sonuçlardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Sonraki çalışmalarda modelin farklı veri setlerindeki performansının bulunması planlanmaktadır.

Kaynakça

- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., . . . Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8(1), 53. doi:10.1186/s40537-021-00444-8
- Andrzejak, R. G., Lehnertz, K., Mormann, F., Rieke, C., David, P., & Elger, C. E. (2001). Indications of nonlinear deterministic and finite-dimensional structures in time series of brain electrical activity: dependence on recording region and brain state. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys*, 64(6 Pt 1), 061907. doi:10.1103/PhysRevE.64.061907
- Bajaj, N. (2020). *Wavelets for EEG Analysis*.
- Beghi, E. (2020). The Epidemiology of Epilepsy. *Neuroepidemiology*, 54(2), 185-191. doi:10.1159/000503831
- Brian, P., Avirath, S., Sean, C., Victoria, G., Antoni, V.-C., & Adrien, M. (2021). *Brain Informatics*. doi:10.21203/rs.3.rs-112880/v1
- Chen, G. (2016). A Gentle Tutorial of Recurrent Neural Network with Error Backpropagation.
- Dwi Saputro, I. R., Maryati, N. D., Solihati, S. R., Wijayanto, I., Hadiyoso, S., & Patmasari, R. (2019). Seizure Type Classification on EEG Signal using Support Vector Machine. *Journal of Physics: Conference Series*, 1201, 012065. doi:10.1088/1742-6596/1201/1/012065
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., . . . Chen, T. (2018). Recent advances in convolutional neural

- networks. *Pattern Recognition*, 77, 354-377. doi:<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>
- Hussain, L. (2018). Detecting epileptic seizure with different feature extracting strategies using robust machine learning classification techniques by applying advance parameter optimization approach. *Cognitive neurodynamics*, 12(3), 271-294. doi:10.1007/s11571-018-9477-1
- Indolia, S., Goswami, A. K., Mishra, S. P., & Asopa, P. (2018). Conceptual Understanding of Convolutional Neural Network- A Deep Learning Approach. *Procedia Computer Science*, 132, 679-688. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.069>
- Jaiswal, A. K., & Banka, H. (2017). Local pattern transformation based feature extraction techniques for classification of epileptic EEG signals. *Biomedical Signal Processing and Control*, 34, 81-92. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2017.01.005>
- Kıymık, M. K., Güler, İ., Dizibüyük, A., & Akın, M. (2005). Comparison of STFT and wavelet transform methods in determining epileptic seizure activity in EEG signals for real-time application. *Computers in Biology and Medicine*, 35(7), 603-616. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2004.05.001>
- Mursalin, M., Zhang, Y., Chen, Y., & Chawla, N. (2017). Automated epileptic seizure detection using improved correlation-based feature selection with random forest classifier. *Neurocomputing*, 241, 204-214.
- Rajoub, B. (2020). Chapter 2 - Characterization of biomedical signals: Feature engineering and extraction. In W. Zgallai (Ed.), *Biomedical Signal Processing and Artificial Intelligence in Healthcare* (pp. 29-50): Academic Press.
- Ravi Kumar, M., & Srinivasa Rao, Y. (2019). Epileptic seizures classification in EEG signal based on semantic features and variational mode decomposition. *Cluster Computing*, 22(6), 13521-13531. doi:10.1007/s10586-018-1995-4
- Sharmila, A., & Geethanjali, P. (2016). DWT Based Detection of Epileptic Seizure From EEG Signals Using Naive Bayes and k-NN Classifiers. *IEEE Access*, 4, 7716-7727. doi:10.1109/ACCESS.2016.2585661
- Sheoran, P., Rathee, N., & Saini, J. S. (2020, 27-28 Feb. 2020). *Epileptic Seizure Detection using Bidimensional Empirical Mode Decomposition and Distance Metric Learning on Scalogram*. Paper presented at the 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN).
- Shi, X., Wang, T., Wang, L., Liu, H., & Yan, N. (2019, 18-21 Nov. 2019). *Hybrid Convolutional Recurrent Neural Networks Outperform CNN and RNN in Task-state EEG Detection for Parkinson's Disease*. Paper presented at the 2019 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC).
- Shoka, A., Dessouky, M., El-Sherbeny, A., & El-Sayed, A. (2019). Literature Review on EEG Preprocessing, Feature Extraction, and Classifications Techniques. *Menoufia Journal of Electronic Engineering Research*, 28(ICEEM2019-Special Issue), 292-299. doi:10.21608/mjeer.2019.64927
- Siddiqui, M. K., Morales-Menendez, R., Huang, X., & Hussain, N. (2020). A review of epileptic seizure detection using machine learning classifiers. *Brain Informatics*, 7(1), 5-5. doi:10.1186/s40708-020-00105-1
- Singh, A., & Trevick, S. (2016). The Epidemiology of Global Epilepsy. *Neurologic clinics*, 34(4), 837-847. doi:10.1016/j.ncl.2016.06.015
- van Mierlo, P., Vorderwülbecke, B. J., Staljanssens, W., Seeck, M., & Vulliémoz, S. (2020). Ictal EEG source localization in focal epilepsy: Review and future perspectives. *Clinical Neurophysiology*, 131(11), 2600-2616. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.08.001>
- Wang, Y., Dai, Y., Liu, Z., Guo, J., Cao, G., Ouyang, M., . . . Zhao, G. (2021). Computer-Aided Intracranial EEG Signal Identification Method Based on a Multi-Branch Deep Learning Fusion Model and Clinical Validation. *Brain sciences*, 11(5). doi:10.3390/brainsci11050615
- Xu, S., Wang, Z., Sun, J., Zhang, Z., Wu, Z., Yang, T., . . . Cheng, C. (2020). Using a deep recurrent neural network with EEG signal to detect Parkinson's disease. *Annals of translational medicine*, 8(14), 874-874. doi:10.21037/atm-20-5100
- Zhao, W., Zhao, W., Wang, W., Jiang, X., Zhang, X., Peng, Y., . . . Zhang, G. (2020). A Novel Deep Neural Network for Robust Detection of Seizures Using EEG Signals. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2020, 9689821. doi:10.1155/2020/9689821



Development and Comparison of Skin Cancer Diagnosis Models

Emel Soylu¹, Rukiye Demir^{2*}

¹ Samsun University, Faculty of Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2774-9778), emel.soylu@samsun.edu.tr

^{2*} Samsun University, Faculty of Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8761-9938), rukiye.demir@samsun.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013910)

ATIF/REFERENCE: Soylu, E., Demir, R (2021). Development and Comparison of Skin Cancer Diagnosis Models. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1217-1221.

Abstract

Skin cancer is the uncontrolled growth of abnormal cells in the epidermis, the outermost layer of skin. The rapid growth and proliferation of abnormal cells creates malignant tumors of the skin. With the computer analysis of skin images, researchers are made to distinguish whether the skin spot is benign or malign. It is automatically possible to classify whether a skin spot is benign or malignant by computer analysis of skin images. In this study, it was aimed to diagnose malignant skin images by computer analysis. The stained appearance on the skin is classified as benign or malignant using deep transfer learning techniques. Benign or malignant skin spot image data were used in network training. In image classification, darkNet-19, darkNet-53, squeezeNet, shuffleNet architectures available in the Matlab deep learning toolbox were compared. High accuracy results have been obtained. The highest performance was achieved with the rate of 89.89% with darkNet-19 architecture. The performances of the networks darkNet-53, shuffleNet, squeezeNet architectures are 87.36%, 86.15%, 84.23% respectively.

Keywords: Skin cancer, Image classification, Deep learning.

Cilt Kanseri Tanı Modellerinin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması

Öz

Cilt kanseri, cildin en dış tabakası olan epidermisteki anormal hücrelerin kontrolsüz büyümesidir. Anormal hücrelerin hızlı büyümesi ve çoğalması, cildin kötü huylu tümörlerini oluşturur. Araştırmacılar, cilt görüntülerinin bilgisayar analizi ile cilt lekесinin iyi huylu veya kötü huylu olup olmadığını ayırt etmeye çalışırlar. Bu çalışmada malign cilt görüntülerinin bilgisayar analizi ile teşhis edilmesi amaçlanmıştır. Derideki lekeli görünüm, derin transfer öğrenme teknikleri kullanılarak iyi huylu veya kötü huylu olarak sınıflandırılır. Ağ eğitiminde iyi huylu veya kötü huylu cilt lekесi görüntü verileri kullanıldı. Görüntü sınıflandırmasında, Matlab derin öğrenme araç kutusunda bulunan darkNet-19, darkNet-53, squeezeNet, shuffleNet mimarileri karşılaştırılmıştır. Yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir. DarkNet-19 mimarisi ile en yüksek performans %89,89 ile elde edilmiştir. DarkNet-53, shuffleNet, pinchNet mimarilerinin performansları sırasıyla %87,36, %86,15, %84,23'tür.

Anahtar Kelimeler: Cilt kanseri, Görüntü sınıflandırması, Derin öğrenme.

1. Introduction

The skin on the human body plays an important role by covering all parts of the body such as muscles and bones. The skin consists of two layers, the upper epidermis, and lower dermis, and contains special structures such as hair follicles and sweat glands [1]. Thousands of people die from skin cancer every year [2],[3]. When diagnosed early, the 5-year survival rate is 99% [4]. The diseased spot on the skin is defined as skin lesion. There are a wide variety of skin lesions [5]. Benign skin lesions are common among them. These are sun-borne freckles, solar lentigines, melanocytic nevi, and seborrheic keratoses [6]. Not being protected from the harmful effects of the sun's rays or being exposed to the sun's rays for a long time are among the most

important causes of skin cancer. According to a study, it was determined that skin cancer cases decreased during the COVID-19 pandemic. This is because people are exposed to less sunlight [7].

Skin cancer is divided into melanoma and non-melanoma skin malignancies. It includes non-melanoma skin cancer (NMSC), basal cell carcinoma (BCC), and squamous cell carcinoma (SCC) [8]. With non-melanoma skin cancer patients, approximately two-thirds are basal cell carcinoma, one-third are cutaneous squamous cell carcinoma (cSCC) or other rare non-melanoma skin cancers [9]. BCC and SCC are epithelial-derived

skin cancer and share the same cell type [10]. Most melanomas are black due to the dark pigment of melanin. However, some melanomas appear in normal skin color, reddish and pinkish. BCC has many subcategories such as nodular BCC, superficial BCC, morpheaform BCC, basosquamous carcinoma. Their appearance varies from white to red [11].

Among the methods used in the early diagnosis of skin cancer; individual lesion or total body photographing dermoscopy, image analysis, and computer-aided diagnosis, multispectral imaging, confocal scanning laser microscopy, ultrasound, optical coherence tomography, and magnetic resonance imaging, and electrical resistance scanning system [12]. Dermatologists use dermatoscope to increase diagnostic reliability. Dermatoscope is a medical instrument that visualizes sub-surface structures of the skin that reveal lesion details in colors and tissues normally invisible to the naked eye [13]. The normal way to diagnose skin cancer is dermoscopic evaluation of the lesion, followed by biopsy and histopathological evaluation [14]. The diagnosis of diseases is generally determined by physicians using the biopsy method [5]. Many innovative skin cancer detection technologies have been developed to increase diagnostic accuracy for skin cancers [14].

The incidence of malignant skin tumors has increased significantly [15]. Early diagnosis and treatment are needed to reduce the number of deaths due to skin cancer. Because the prognosis improves when lesions are detected early for both melanoma and non-melanoma skin cancer [16].

Artificial intelligence techniques, which are used in many fields, are also successfully applied in the field of health [17], [18]. In recent years, various computer-aided diagnostic systems have been proposed for the detection of skin cancer. The ABCD(E) rule is a common method dermatologists use to diagnose skin cancer. In such methods, pattern analysis is performed using traditional feature extraction algorithms [13].

Image classification is one of the main problems of the computer vision field. Computer vision technology is used in many applications such as robotics, health, autonomous vehicles, object recognition. Machine learning has attracted attention, especially with its convolutional neural networks parasitism and success rate.

Architectures with a higher number of layers and neurons can be created by running artificial neural networks on graphics cards. These types of architectures are called deep neural networks (DNN). Thanks to deep learning techniques, results can be obtained without using the feature extraction process used in machine learning. High performance in image processing is achieved with DNN. An advantage of DNN is that it is possible to retrain previously trained and proven neural networks with new data. Deep learning architectures can also be used successfully in the early diagnosis of diseases in the field of health [19].

Researchers use deep learning-based transfer learning methods to detect skin cancer from images. In the skin cancer dermoscopy images classification study conducted by Lin et al., 87.3% success was achieved with DenseNet121 [20]. In a similar study, Mijwil achieved 87.66% success with the InceptionV3 architecture [21]. Layode et al. In their work on early skin cancer detection, they achieved 85% success with the integration of ResNet and VGG architectures [22]. Çevik ve Zengin achieved 85.62% success with VGGNET-16 architecture in their studies on the classification of skin lesions in dermoscopic images [23].

In this study, the performances of previously trained DNN architectures darknet-19, darknet-53, squeezeNet, shufflenet networks in benign and malign classification are compared. The best classification success rate is achieved by using Darknet-19 architecture.

In the continuation of this article, a dataset that is used in the diagnosis of skin cancer, methods that are used in the diagnosis of skin cancer, and the obtained results are discussed included.

I.1 Data set

We obtained the data from the online Kaggle online dataset sharing platform. The main source of the dataset is International Skin Imaging Collaboration (ISIC), an international effort to improve melanoma diagnosis [24]. The ISIC Archive contains the largest publicly available collection of quality-controlled dermoscopic images of skin lesions. In the data set, there are 1440 pictures of benign and 1197 malignant skin tumors with dimensions of 224x224 [25].70% of the pictures in this data set were used in training and 30% in testing. Figure 1 gives examples of images diagnosed as malignant.

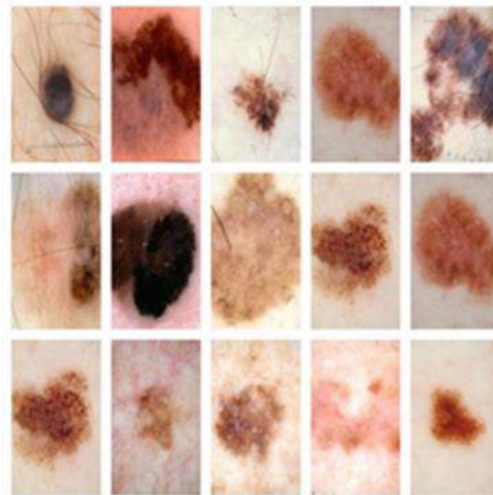


Figure 1. Images diagnosed as malignant [25].

In Figure 2, there are examples of benign images. Images were diversified with techniques such as rotation, mirroring, resizing before being used in network training.

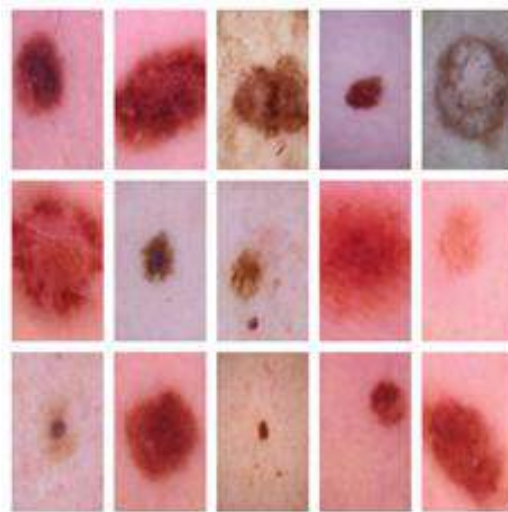


Figure 2. Benign skin blemishes images[25].

2. Material and Method

In this study, transfer-based deep learning methods were used by using 4 types of DNN architectures and Matlab "Deep Network Designer" application. darkNet-19, darkNet-53, squeezeNet, shuffleNet architectures were trained with the same learning algorithm, learning rate, and batch dimension. The block diagram of the system is given in Figure 3. The image applied to the DNN entry is classified as benign or malignant. DarkNet-19 is used as the backbone of YOLOv2 and is a 19-layer convolutional neural network. It mostly uses filters in layers and the number of channels doubles after each pooling step. It uses the global mean pool to make predictions as well as filters to compress the feature representation between convolutions. Batch normalization is used to stabilize the training, accelerate convergence, and organize the model set. [26]. The image input size of the network is 256x256. Figure 4 shows the accuracy rate graph depending on the number of iterations in the training process of the darkNet-19 network.

DarkNet-53 is a 53 layer-deep convolutional neural network that acts as a backbone for the YOLOv3 object detection approach. It has been improved with improvements in darkNet-19. It involves the use of more layers [27]. The network has an image input size of 256x256. Figure 5 shows the accuracy rate graph depending on the number of iterations in the training process of the darkNet-53 network. SqueezeNet was developed at the University of California, Berkeley, and Stanford University, at DeepScale. When creating SqueezeNet, the researchers' goal was to create a smaller neural network with fewer parameters that required less computer memory and could be more easily transferred over a computer network [28]. It has a depth of 18 layers and an image input size of 227x227. Figure 6 shows the accuracy rate graph of the Squeezenet network depending on the number of iterations in the training process.

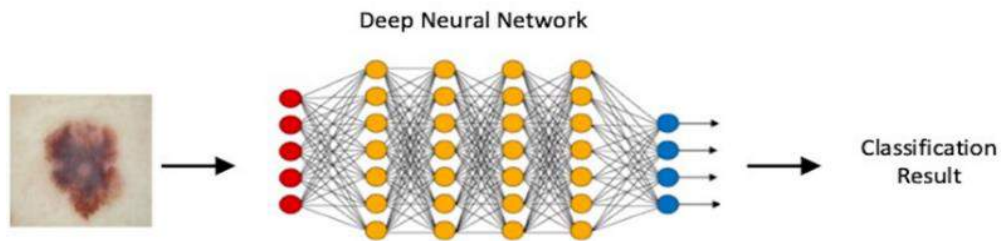


Figure 3. General working block diagram of the system.

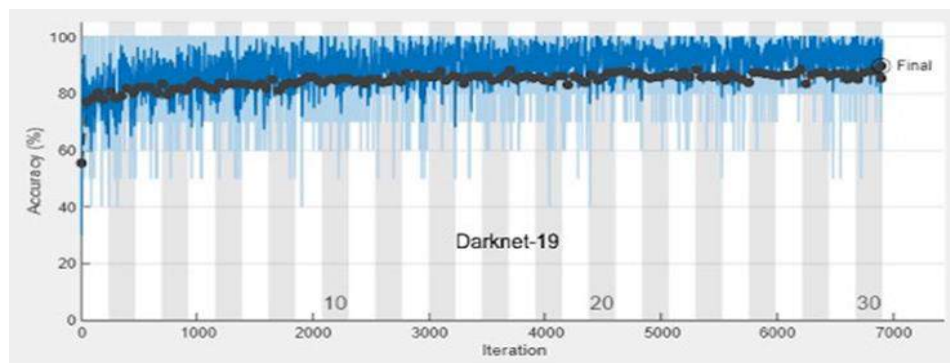


Figure 4. Darknet-19 re-training process

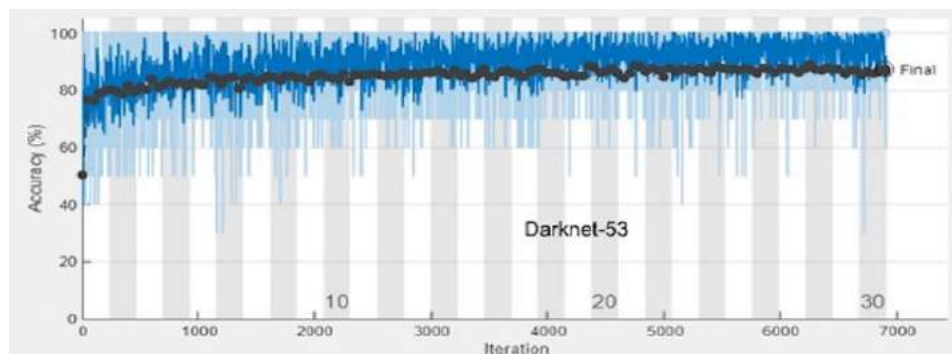


Figure 5. Darknet-53 re-training progress.

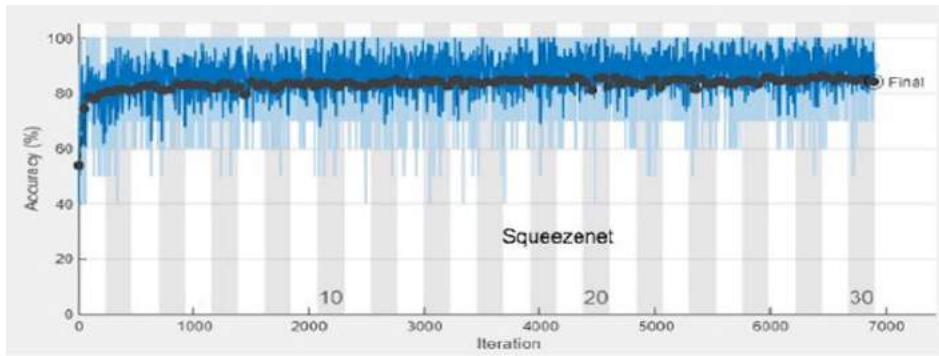


Figure 6.Squeezenet re-training process.

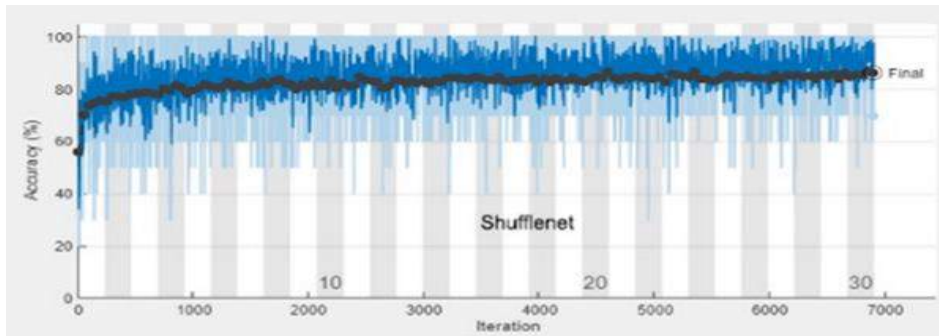


Figure 7. Shufflenet re-training process.

ShuffleNet architecture uses mixed grouped convolution, point grouped convolution and deeply separable convolution. This type of architectural design significantly reduces computational costs while maintaining accuracy [29]. It has a depth of 50 layers and an image size of 224x224. Figure 7 shows the accuracy rate graph of the Shufflenet network depending on the number of iterations in the training process.

In Table 1, the architecture used in the training process, learning rate, batch size, number of the epoch, number of iterations per epoch, learning time, and obtained accuracy rates are given. Confusion matrix of classification is given in Table 2.

Table 1. Comparison of architectures

Architecture	Learning Rate	Batch Size	Epoch Number	Learning Algorithm	Learning time	Accuracy (%)
Darknet-19	0.0001	10	30	sgdm	45 min 26 sec	89.89
Darknet-53	0.0001	10	30	sgdm	119 min 12 sec	87.36
Squeezenet	0.0001	10	30	sgdm	27 min 58 sec	84.23
Shufflenet	0.0001	10	30	sgdm	65 min 51 sec	86.15

Table 2. Confusion matrix of classification

Method	Class	Malignant (Predicted)	Benign (Predicted)	Total
darkNet-19	Malignant (Actual)	321	38	359
	Benign (Actual)	42	390	432
darkNet-53	Malignant (Actual)	315	44	359
	Benign (Actual)	56	376	432
squeezeNet	Malignant (Actual)	313	46	359
	Benign (Actual)	78	354	432
shuffeNet	Malignant (Actual)	330	29	359
	Benign (Actual)	80	352	432

3. Results and Discussion

Skin cancer is one of the causes of cancer-related death. As with many types of cancer, early detection saves lives. It can usually be prevented by going to a dermatologist regularly. It can have deadly results if neglected. In this study, it was tried to determine whether the skin spots were malignant or benign by image analysis. In image analysis, transfer learning based on darkNet-19, darkNet-53, squeezeNet, shuffleNet architectures was carried out. The highest performance was achieved with the rate of 89.89% in darkNet-19 architecture. Later, darkNet-53, shuffleNet, squeezeNet architectures with 87.36%, 86.15%, 84.23% accuracy rates follow this performance rate. Future studies should focus on improving accuracy via combining methods.

4. Acknowledgement

Thanks to Kaggle and the Author Claudio Fanconi, for providing the dataset of Skin Cancer: Malignant vs Benign images free online.

References

- [1] Rognoni, E., & Watt, F. M. (2018). Skin cell heterogeneity in development, wound healing, and cancer. *Trends in cell biology*, 28(9), 709-722.
- [2] Fitzmaurice C, Akinyemiju TF, Al Lami FH, Alam T, Alizadeh-Navaei R, Allen C, et al. (2018) Global, regional, and national cancer incidence, mortality, years of life lost, years lived with disability, and disability-adjusted life-years for 29 cancer groups, 1990 to 2016: a systematic analysis for the global burden of disease study. *JAMA Oncol.*;4(11):1553–68.
- [3] Dinehart, S. M. (2000). The treatment of actinic keratoses. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 42(1), S25-S28.
- [4] Skin Cancer Facts & Statistics [Internet]. 2021. Available from: <https://www.skincancer.org/skin-cancer-information/skin-cancer-facts/>
- [5] Murugan, A., Nair, S. A. H., Preethi, A. A. P., & Kumar, K. S. (2021). Diagnosis of skin cancer using machine learning techniques. *Microprocessors and Microsystems*, 81, 103727.
- [6] Ogden E, Schofield J. (2013) Benign skin lesions. *Medicine (Baltimore)*.;41(7):406–8.
- [7] Andrew, T. W., Alrawi, M., & Lovat, P. (2021). Reduction in skin cancer diagnoses in the UK during the COVID-19 pandemic. *Clinical and Experimental Dermatology*, 46(1), 145-146.
- [8] Linares MA, Zakaria A, Nizran P. (2015) Skin Cancer. *Prim Care Clinics Off Pract.*;42(4):645–59.
- [9] Eigentler, T. K., Leiter, U., Häfner, H. M., Garbe, C., Rösen, M., & Breuninger, H. (2017). Survival of patients with cutaneous squamous cell carcinoma: results of a prospective cohort study. *Journal of Investigative Dermatology*, 137(11), 2309-2315.
- [10] Crowson, A. N. (2006). Basal cell carcinoma: biology, morphology and clinical implications. *Modern pathology*, 19(2), S127-S147.
- [11] Goyal, M., Knackstedt, T., Yan, S., & Hassanpour, S. (2020). Artificial intelligence-based image classification for diagnosis of skin cancer: Challenges and opportunities. *Computers in Biology and Medicine*, 104065.
- [12] Özdemir F. (2007) Diagnosis of Melanoma. *TURKDERM [Internet]*.;41(0):6–14. Available from: <https://dx.doi.org/>
- [13] Pacheco, A. G., & Krohling, R. A. (2020). The impact of patient clinical information on automated skin cancer detection. *Computers in biology and medicine*, 116, 103545.
- [14] Dorrell, D. N., & Strowd, L. C. (2019). Skin cancer detection technology. *Dermatologic clinics*, 37(4), 527-536.
- [15] Holte, K., & Biswas, A. (2017). Pathology of malignant skin tumours. *Surgery (Oxford)*, 35(9), 478-483.
- [16] Diepgen, T. L., & Mahler, V. (2002). The epidemiology of skin cancer. *British Journal of Dermatology*, 146, 1-6.
- [17] ŞENTÜRK, A., & ŞENTÜRK, Z. K. (2016). Yapay Sinir Ağları İle Göğüs Kanseri Tahmini. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(2).
- [18] Sivari E, Civelek Z, Kahraman G. (2020) Artificial neural network model estimating the initial dose of propofol used in general anesthesia. *El-Cezeri J Sci Eng.*;7(3):1482–95.
- [19] Umut, K., Yılmaz, A., & Dikmen, Y. (2019). Sağlık alanında kullanılan derin öğrenme yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 792-808.
- [20] Lin, T. C., & Lee, H. C. (2020, December). Skin Cancer Dermoscopy Images Classification with Meta Data via Deep Learning Ensemble. In *2020 International Computer Symposium (ICS)* (pp. 237-241). IEEE.
- [21] Mijwil, M. M. (2021). Skin cancer disease images classification using deep learning solutions. *Multimedia Tools and Applications*, 1-17.
- [22] Layode, O., Alam, T., & Rahman, M. M. (2019, October). Deep Learning Based Integrated Classification and Image Retrieval System for Early Skin Cancer Detection. In *2019 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)* (pp. 1-7). IEEE.
- [23] Çevik, E., & Zengin, K. (2019). Classification of skin lesions in dermatoscopic images with deep convolution network. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 309-318.
- [24] Codella NCF, Gutman D, Celebi ME, Helba B, Marchetti MA, Dusza SW, et al. Skin lesion analysis toward melanoma detection: A challenge at the 2017 International symposium on biomedical imaging (ISBI), hosted by the international skin imaging collaboration (ISIC). *Proc - Int Symp Biomed Imaging*. 2018;2018-April(Isbi):168–72.
- [25] Skin Cancer: Malignant vs Benign [Internet]. Available from: <https://www.kaggle.com/fanconic/skin-cancer-malignant-vs-benign>
- [26] Redmon, J., & Farhadi, A. (2017). YOLO9000: better, faster, stronger. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 7263-7271).
- [27] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- [28] Iandola, F. N., Han, S., Moskewicz, M. W., Ashraf, K., Dally, W. J., & Keutzer, K. (2016). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size. *arXiv preprint arXiv:1602.07360*.
- [29] Zhang, X., Zhou, X., Lin, M., & Sun, J. (2018). Shufflenet: An extremely efficient convolutional neural network for mobile devices. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 6848-6856).



Derin Öğrenme ve İstatistiksel Modelleme Yöntemiyle Sıcaklık Tahmini ve Karşılaştırılması

Aynur Sevinç^{1*}, Buket Kaya²

^{1*} Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1388-2554), sevinc.aynur03@gmail.com

² Fırat Üniversitesi, Elazığ Organize Sanayi Bölgesi MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9505-181X), bkaya@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014106)

ATIF/REFERENCE: Sevinç, A. & Kaya, B. (2021). Derin Öğrenme ve İstatistiksel Modelleme Yöntemiyle Sıcaklık Tahmini ve Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1222-1228.

Öz

Hava sıcaklığı tahmininin son yıllarda özellikle tarıma dayalı ekonomileriyle öne çıkan ülkeler için yüksek doğruluk içermesi önemlidir. Sürekli değişen hava şartları nedeniyle tahmin daha karmaşık hale gelmektedir. Bazı matematiksel ve istatistiksel teknikler sıcaklık tahmini sağlamada yetersiz olabilmektedir. Bu noktada derin öğrenme yöntemleri bu süreci daha başarılı hale getirmede son yıllarda kabul gören popüler yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Etkili bir iklim analizi gerçekleştiren derin yöntemler ile başarılı hava tahmini çalışmaları yapılabilmektedir. Bu makalenin amacı, meteorolojik verilere dayalı hava sıcaklığı tahmini için çeşitli derin öğrenme ve zamansal seri analizi yöntemlerinin uygulanabilirliğini göstermek ve performans sonuçlarını karşılaştırmaktır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Bingöl ilinin Solhan ilçesine ait meteorolojik veriler kullanılarak, derin sinir ağı Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modelleri ile analizler yapılmıştır. Gerçek veri kümesi üzerinde yapılan deney sonuçlarında geleceğe yönelik sıcaklık tahmininde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu modellerin tahmine dayalı performansları farklı değerlendirme metrikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki ilişkiyi gösteren R kare skoru değeri LSTM ağlarında 0.95, ARIMA modelinde ise 0.97 olarak hesaplanmıştır. Modellerin tahmin doğruluğunun yüksek olması, sıcaklık zaman serisi tahmini çalışmalarında bu modellerin başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava sıcaklığı, Zaman serisi tahmini, Makine öğrenmesi, Derin öğrenme, LSTM, ARIMA.

Temperature Estimation and Comparison with Deep Learning and Statistical Modeling Method

Abstract

It is important that the air temperature forecast includes high accuracy, especially for countries that have come to the fore with their agriculture-based economies in recent years. Forecasting becomes more complex due to constantly changing weather conditions. Some mathematical and statistical techniques may be insufficient to provide temperature estimation. At this point, deep learning methods emerge as popular methods that have been accepted in recent years in making this process more successful. Successful weather forecasting studies can be done with deep methods that perform an effective climate analysis. The purpose of this article is to demonstrate the applicability of various deep learning and temporal series analysis methods for air temperature prediction based on meteorological data and compare the performance results. In order to carry out this study, analyzes were made with deep neural network Long Short Term Memory (LSTM) and Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) models, using meteorological data from Solhan district of Bingöl province in the Eastern Anatolia Region of Turkey. In the results of the experiments on the real data set, successful results were obtained in the prediction of the future temperature. The predictive performance of these models was compared using different evaluation metrics. The R square score value, which shows the relationship between the actual values and the estimated values, was calculated as 0.95 in the LSTM networks and 0.97 in the ARIMA model. The high estimation accuracy of the models has shown that these models can be successfully applied in temperature time series estimation studies.

Keywords: Temperature, Time series forecasting, Machine learning, Deep learning, LSTM, ARIMA.

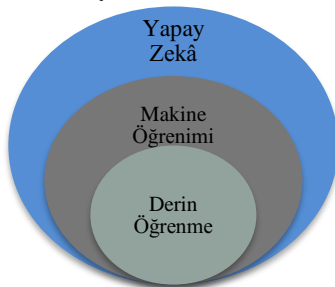
* Sorumlu Yazar: sevinc.aynur03@gmail.com

1. Giriş

Önemli bir meteorolojik parametre olan hava sıcaklığı; enerji, tarım, ekoloji ve hidroloji gibi birçok alanda büyük önem taşımaktadır. Hava sıcaklığı tahmini, meteoroloji alanındaki araştırmacılar ve tahminciler için önemli bir görevdir. Son yıllarda, hava sıcaklığını doğru bir şekilde tahmin etme hedefi; bulanık teori, makine öğrenimi ve istatistiksel yöntemler gibi sayısız konseptte dayalı buluşsal güdümlü modellerin uygulanmasını zorunlu kılmıştır [1].

Yapay sinir ağları (YSA) ve temeli bu sinir ağlarına dayanan derin öğrenme gibi yapay zeka modelleri (AI) hava tahminlerinde başarılı uygulamalar gerçekleştirmektedir. Yapay sinir ağları, insan beyninin yapısından esinlenilerek tasarlanan, örüntü tanıma ve hata minimizasyonuna dayalı bir yöntemdir. YSA matematiksel modellerle ilgili varsayımsal önermeye ihtiyaç duymadığından, işlev yaklaşımı ve veri uyumu için geleneksel istatistiksel tekniklere etkili bir alternatif olduğu düşünülmektedir [2]. Başarılı tahminler büyük ölçüde YSA modellerinin eğitiminde kullanılan deneysel veri örneklerinin kalitesine (büyüklüğüne ve dağılımına) bağlıdır [3]. YSA'lar, sürecin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına gerek olmadan karmaşıklığın önemli ölçüde azaltılmasına, tahmin doğruluğunun artırılmasına ve daha genel ve esnek modellerin elde edilmesine izin verir.

Makineler daha zeki nasıl olabilir? sorunsalından hareketle geliştirilen yapay zekâ (Artificial Intelligence) kısaca, makinelerin insandaki bilişsel ve öğrenme kabiliyetini taklit etmesi ve insana özgü olan akıl yürütme yeteneğini gerçekleştirmesi olarak tanımlanabilir. Say (2018) yapay zekâyı, doğal sistemlerin yapabildiği (zekice olsun veya olmasın) her bilişsel etkinliği (gerekirse bedenleri olan) yapay sistemlere, daha da yüksek başarımlı düzeylerinde nasıl yaptırabileceğimizi inceleyen bilim dalı olarak tanımlamaktadır. Makine öğrenimi, bilgisayarın özel olarak tasarlanmış programlar ve algoritmalarla gösterdiği zekâyı ifade eden AI'nın alt kümesidir. Daha geniş bir tanımla, bilgisayar ortamında verilen her bir örnekten gerekli algoritma ve formülasyonların kullanılmasıyla bir şeyler öğrenilmesi aracılığıyla ilerleyen zaman ya da zamanlar için ilgilenilen olay hakkında karar verecek düzeye ulaşılmasına makine öğrenmesi denilmektedir [4]. Farklı makine öğrenme algoritmaları mevcuttur. En yeni öne çıkan örnekler, zekanın programda ve algoritma tasarımında insan akıl yürütme sürecini taklit ederek elde edildiği derin öğrenme modeli olacaktır [5]. Derin öğrenme ile yapay sinir ağları arasındaki temel fark, derin öğrenmede sinir ağlarındaki gizli katmanların derinliğinin katlanarak artan karmaşıklığıdır. Derin öğrenme modeli, genellikle milyonlarca bağlantılı nöron içeren insan beynindeki karmaşık nöron yapısına daha fazla benzerlik göstermektedir. Yapay zeka, makine öğrenmesi ve derin öğrenme arasındaki ilişki Şekil 1 ile şematize edilmiştir.



Şekil 1. Yapay zekâ unsurları

Yapay zeka modellerinden derin öğrenme, tahmin çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Derin öğrenme, büyük veri araştırmalarında, kalıpları otomatik ve etkili bir şekilde tanımak ve denetimsiz/denetimli modeller aracılığıyla karmaşık verilerdeki bilgileri keşfetmek için kullanılan verimli bir teknolojidir [6]. Son zamanlarda derin inanç ağı (DBN), tekrarlayan sinir ağı (RNN) ve uzun kısa süreli bellek (LSTM) kullanılarak hava sıcaklığını analiz etmek için bazı derin öğrenmeye dayalı stratejiler önerilmiştir. Geleneksel yapay zeka yöntemleri, yalnızca doğal verileri ham haliyle işleyebilir. LSTM gibi son teknoloji derin öğrenme (DL) yöntemleri, temel veri kalıplarını keşfetmek için birden çok işleme katmanından oluşan hesaplama algoritmalarına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, zaman serisi analizi çalışmalarında sıklıkla tercih edilen bir diğer model ARIMA modelidir. Çoğunlukla istatistiksel hesaplamalara dayanan ARIMA modelleri ile makine öğrenmesine dayalı yöntemler kullanılmaktadır. ARIMA modelleri bazı önemli kısıtlamalara sahiptir, bu kısıtlamaların çözümü olarak zaman serisi analizleri için derin öğrenmeye dayalı yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Konuyla ilgili yapılmış çalışmalara bakıldığında; Tatlı ve Şen (1999) [7] çalışmalarında, zaman serisi verilerini kullanarak maksimum günlük sıcaklığı tahmin etmek için bulanık teoriyi benimsemişlerdir. Bilgili ve Şahin (2010) [8], Türkiye'deki uzun vadeli aylık sıcaklıkları tahmin etmek için YSA'yı kullanmıştır. Liu ve arkadaşları (2015) [9], geniş bir zaman periyodu boyunca saatlik hava durumu verilerini simüle etmek için Stacked Auto-Encoder adlı derin bir sinir ağı kullanmıştır. Bu modelin Yığılmış Gürültü Giderici Otomatik Kodlayıcı olarak bilinen bir varyantının, basınç, nem ve rüzgar hızı gibi diğer hava değişkenlerinin hesaba katıldığı hava sıcaklığını tahmin etmek için standart birçok katmanlı ileri beslemeli sinir ağından daha iyi performans sergilediği gösterilmiştir. Soares ve arkadaşları (2018) [10], sırasıyla belirli bir zaman periyodunda hava ve yağış tahmininde bulunmak için zaman serisi modellemesini uygulamışlardır. Vantuch ve Zelinka (2015) [11] ise, ARIMA modelinin oluşturulması ve tahmin edilmesi için evrim algoritmalarını kullanmışlardır.

Bu çalışmanın birincil amacı, ortalama hava sıcaklığı verilerini kullanarak gelecek hava sıcaklığı tahmini için bir derin öğrenme modeli olan LSTM ve istatistiksel analiz ARIMA modellerinin doğruluğunu değerlendirmektir. Çalışmanın ikinci amacı ise, bu modellerin gerçeğe yakın değerler elde etmede performans ölçütlerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde; veri ve yöntemlerin ayrıntılı açıklaması, makalenin deneysel sonuçları ve son olarak genel sonuç bilgilerine yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı ve Mevcut Veriler

Çalışma alanımız, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat bölümünde yer alan Bingöl iline bağlı Solhan İlçesi'dir (Şekil 2). Bingöl ili 41° 20' ve 39°-56° doğu boylamları ile 39°-31' ve 36°-28° kuzey enlemleri arasında yer alan coğrafi konuma sahiptir. Çalışma alanımızı oluşturan Solhan ilçesi il merkezine 60 km uzaklıktadır. Ayrıca bölge için önemli bir turistik doğa harikası sayılan Yüzen Adalar Solhan ilçesinin sınırları içerisindedir. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün sunduğu verilere göre Bingöl'ün yıllık ortalama sıcaklığı 12.1 derecedir.



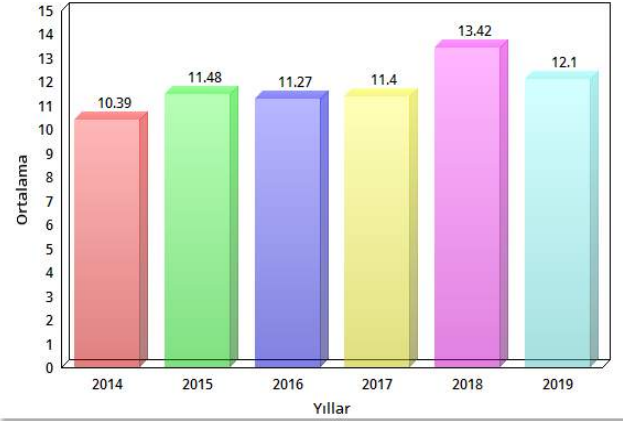
Şekil 2. Türkiye Bingöl ili haritası

Bu çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden resmi yazışma yoluyla elde edilmiştir. Meteorolojik Veri Bilgi Sunum ve Satış Sistemi'nden (MEVBİS) alınan veri kümesi seti, Bingöl'ün Solhan ilçesinin 2014 ile 2020 yılları arasında kapsayan her yılın 12 ayına ait günlük ortalama sıcaklıklarını içermektedir. Veriler, belirtilen tarihler arasında toplam 2306 günlük gözlemden oluşmaktadır. 1 Ocak 2014 ile 27 Nisan 2020 tarihleri arasında geçen veriler Microsoft Excel programı kullanılarak düzenlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri hesaplanarak aşağıda yer alan Tablo 1'de veri setine ait değerler sunulmuştur.

Tablo 1. Veri setinde mevcut ham veriler ve hesaplanan aylık ortalama sıcaklık değerleri

No	Yıl	Ay	Gün	Sıcaklık (°C)	Aritmetik Ortalama
1	2014	1	1	-1.0	-4.56
2	2014	1	2	-4.9	-4.56
3	2014	1	3	-4.9	-4.56
4	2014	1	4	-6.2	-4.56
.
.
2304	2020	4	25	9.1	9.68
2305	2020	4	26	10.0	9.68
2306	2020	4	27	10.8	9.68

Tablo 1'e bakıldığında yıllara ve aylara göre sıcaklık değerlerinin dağılımı görülmektedir. Veri kümesinde mevcut hava sıcaklığı değerleri minimum -12°C ile maksimum 31.2°C arasında değişmektedir. Şekil 3, veri setinin yıllara göre aylık ortalama sıcaklık değerlerini göstermektedir.



Şekil 3. 2014-2020 arası yıllık ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 3'te yer alan grafik incelendiğinde, her yıla ait ortalama sıcaklık değerleri dağılımında en düşük ortalama sıcaklığın 2014 yılı, en yüksek sıcaklığın ise 2018 yılına ait olduğu görülmektedir.

2.2. Önerilen Yöntem

Uygulanacak probleme göre birçok derin öğrenme mimarisi mevcuttur. Bunlardan bazıları; Konvolüsyonel sinir ağları (CNN), Tekrarlayan sinir ağları (RNN), Uzun kısa süreli hafıza ağları (LSTM), Sınırlı boltzman makineleri (RBM), Derin oto kodlayıcılar [12]. Derin öğrenme kütüphaneleri; Caffe2, Bilişsel Araç Seti, Matlab, Mxnet, Nvidia Caffe, Pytorch, Tensorflow, Chainer, PaddlePaddle'dır.

Bu çalışmada, bir derin öğrenme modeli olan LSTM ile durağan zaman serileri tahmini için yaygın olarak kullanılan bir istatistiksel yaklaşım olan ARIMA modeli kullanılmıştır. ARIMA modellerinde yer alan üç ana adım; adım 1 model tanımlama, adım 2 parametre tahmini ve adım 3 tehis kontrolüdür [13]. Çalışmamızın diğer modeli ise tekrarlayan sinir ağının (RNN) özel bir şekli ve bir makine öğrenme algoritması olan LSTM'dir. LSTM modeli tahmin çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Yapay zeka ve bilimsel hesaplama uygulamalarında son on yılda oldukça popüler olan ve zengin kütüphanelere sahip Python programlama dilinin Python 3x serisine ait 3.8 sürümü kullanılarak Anaconda platformu üzerinden Spyder arayüzü ile analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Programın verileri okuyabilmesi için Excel dosyası .csv (virgülle ayrılmış değerler dosyası) formatına çevrilmiş ve arayüz programına import edilmiştir.

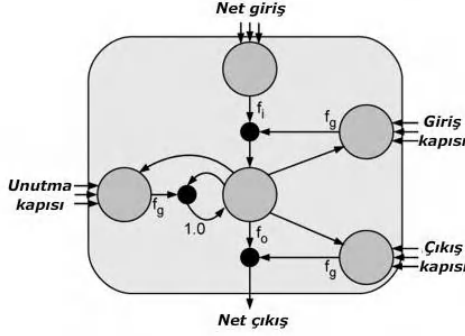
2.3. Modelin Teorik Arka Planı

2.3.1. Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)

Bellek ağları (LSTM) bilgileri uzun süre tutabilirler. Ortak bir LSTM birimindeki bilgi akışı, hücre durumu tarafından kontrol edilir ve bilginin hücre durumuna geçmesine izin verilip verilmeyeceğini üç kapı kontrol eder. LSTM'ler, zaman serisi verilerine (hava durumu verileri vb.) dayalı tahminler yapmak için çok iyi çalışsa da daha fazla belleğe ihtiyaç duyarlar ve daha fazla parametreye sahip oldukları için eğitilmeleri çok uzun sürer [14].

Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM), sıralı verileri öğrenme ve tahmin etme konusunda güçlü bir yeteneğe sahip bir tür tekrarlayan sinir ağıdır. Araştırmalar sonucunda, RNN'nin

sınırlı olduğu kabul edilmiş ve bu sınırlamanın üstesinden gelmek için, zaman içinde durumunu koruyabilen, neyin hatırlanacağına, neyin unutulacağına ve neyin çıkarılacağına karar veren kapılarla birlikte bellek yapısı eklenerek LSTM geliştirilmiştir.



Şekil 4. Bir bellek hücresinden oluşan LSTM bellek bloğu

LSTM mimarisi genellikle giriş, unutma ve çıkış kapıları gibi üç kapı içerir (Şekil 4). Giriş kapısı, verilerin giriş akışını kontrol etmek için kullanılırken, çıkış kapısı, verilerin bellek hücrelerine çıkışını kontrol etmek için kullanılır. Unutma kapısı ise, son bellek hücresinden mevcut bellek hücresine hangi bilgilerin geçtiğini kontrol etmek için kullanılır. Bu kapılar formülasyonlarıyla birlikte aşağıda sırasıyla detaylı olarak açıklanmıştır [15].

Giriş Kapısı: Hücre durumuna bazı yararlı bilgilerin eklenmesi çoğunlukla giriş kapısı ile yapılır. İlk olarak, bilgi sigmoid işlevi kullanılarak toplanır ve $x(t)$ ve $h(t-1)$ girişlerini kullanarak unutma kapısına benzer hatırlanan değerleri filtreler. Ardından, $x(t)$ ve $h(t-1)$ 'den gelen tüm olası değerleri içeren -1'den +1'e çıktı veren tan h işlevi kullanılarak bir vektör elde edilir. Son olarak, yararlı bilgiyi elde etmek için vektörün değerleri ve düzenlenmiş değerler çarpılır.

Unut Kapısı: Hücre durumunda artık kullanılmayan bilgi, unutma kapısıyla birlikte çekilir. İki giriş $x(t)$ ve $h(t-1)$ kapıya beslenir ve bunlara karşılık gelen ağırlık matrisleriyle çarpılır ve ardından küçük sapma değeri eklenir.

Çıkış Kapısı: Mevcut hücre durumundan faydalı bilgilerin çıkarılması işi bir çıktı olarak kabul edilir. İlk olarak, hücre üzerinde tan h fonksiyonu kullanılarak bir vektör oluşturulur. Ardından, bilgi çeşitli sigmoid işlevi kullanılarak düzenlenir ve $x(t)$ ve $h(t-1)$ girişleri kullanılarak hatırlanacak tüm değerleri filtreler. Son olarak, vektörün değerleri ve düzenlenmiş değerler, bir sonraki hücreye çıktı ve girdi üretmek için çarpılır.

LSTM'nin en yaygın varyantı şu şekilde tanımlanır:

$$f_t = \sigma(\mathbf{W}_{fh} \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{W}_{fx} \mathbf{x}_t + \mathbf{b}_f), \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(\mathbf{W}_{ih} \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{W}_{ix} \mathbf{x}_t + \mathbf{b}_i), \quad (2)$$

$$o_t = \sigma(\mathbf{W}_{oh} \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{W}_{ox} \mathbf{x}_t + \mathbf{b}_o), \quad (3)$$

$$\bar{c}_t = \tanh(\mathbf{W}_{ch} \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{W}_{cx} \mathbf{x}_t + \mathbf{b}_c), \quad (4)$$

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \bar{c}_t, \quad (5)$$

$$\mathbf{h}_t = o_t \odot \tanh(c_t). \quad (6)$$

Formülasyonda; c_t unutma kapısına göre sıfırlanan, üzerine yazılan ve okunan f_t , giriş kapısı i_t ve çıkış kapısı o_t olarak kabul edilir. Özellikle, her üç kapı da basit RNN'lere çok benzerdir, ancak temel fark, tanh aktivasyon fonksiyonu yerine sigmoid aktivasyon fonksiyonu vardır (Çıktıları 0 ile 1 arasında sınırlandırmak).

2.3.2. Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA)

Otomatik Regresif Entegre Hareketli Ortalama modeli veya ARIMA, bir değişkenin gelecekteki değerini kendi geçmiş değerlerinden tahmin etmede kullanılan bir zaman serisi tahmin yaklaşımıdır. Otomatik regresyon ve hareketli ortalama kullanır ve trendi ve/veya mevsimselliği ortadan kaldırmak için bir fark sıralaması içerir. Model aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$y_t = c_t + \sum_{i=1}^p \phi_m y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_n e_{t-j} \quad (7)$$

ARIMA modeli 3 parametre içerir (p, d, q). Parametre p, ARIMA modelinde, gecikecek dönemleri temsil eder. Örneğin, bir değer p=2, denklemin otomatik regresyon kısmında zaman serisinin önceki 2 zaman diliminin kullanıldığını gösterir. Parametre d trendi ve/veya mevsimselliği ortadan kaldırmak için yapılan farklılaştırma dönüşümlerinin sayısını temsil eder, bu nedenle zaman serisini durağan bir seriye dönüştürür, yani ortalama ve varyansı zaman içinde sabit hale getirir. Bu, verileri bir ARIMA modelinde kullanıma hazırlamak için önemli bir adımdır. Parametre q ise, ARIMA modelinin hata bileşeninin gecikmesini temsil eder. Hata bileşeni, zaman serisinin trend veya mevsimsellik ile açıklanamayan kısmıdır [16].

2.3.3. Hata Kriteri Ölçütleri

Hata kriter ölçütleri olarak; Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE), Ortalama Kare Hata (Mean Squared Errors-MSE) ve R² (Korelasyon Katsayısı) kullanılmıştır. Bu ölçütler formülasyonu ile birlikte aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

RMSE: Kök ortalama kare hata (RMSE), tahmin edilen \hat{y}_i değerlerinde hata kareler ortalaması karekökü olup en önemli performans ölçütlerinden birisidir [17]. Denklem 8'de RMSE formülü verilmiştir. Burada, y_i gerçek veriyi \hat{y}_i parametresi ise tahmin edilen değerlerini göstermektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (8)$$

MSE: Ortalama kare hata (MSE), tahminleyicinin performansını ölçen kriterdir. Her zaman pozitif değer alır ve MSE değeri sıfıra ne kadar yakınsa tahminleyicinin o ölçüde iyi performans gösterdiği yorumu yapılabilir.

$$MSE = 1/N \sum_{i=1}^N e_i^2 = 1/N \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (9)$$

MAE: Ortalama Mutlak Hata (MAE), doğrusal bir skordur ve iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsünü ifade etmektedir. Bu değer 0'dan ∞ 'a kadar değişim gösterebilir. Burada t beklenen değeri, a ise gerçek ölçüm değerini temsil etmektedir.

$$MAE = 1/N \sum_{i=1}^N |t_i - a_i| \quad (10)$$

R²: Gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi ifade eden R kare skoru, 0-1 arasında değer alır. R² değeri 1'e ne kadar yakınsa model o kadar hassas ve uyum iyiliği uygun demektir. Denklem 11'de R² formülü yer almaktadır.

$$R = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

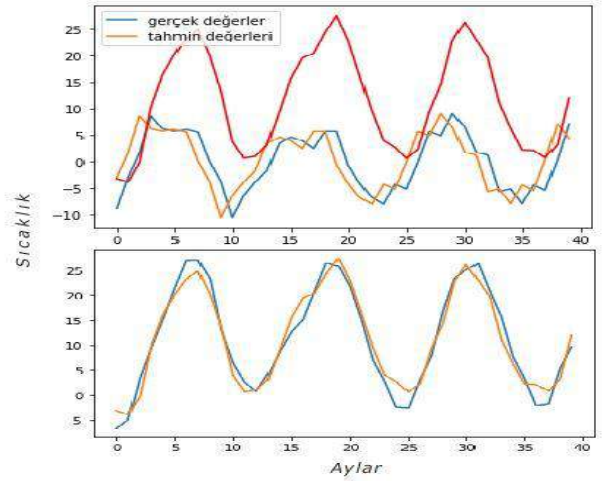
3. Araştırma Sonuçları

3.1. Bulgular

Model eğitimi için tüm veri seti bir anda eğitime katılmaz. İlk parça eğitildikten sonra modelin başarısına bakılır, başarımlarına göre geriyayılım ile ağırlıkların güncellenmesi yapılır. Sonraki adımda yeni eğitim kümesi belirlenir ve model eğitimi tekrar yapılarak ağırlıklar yeniden güncellenir. Her eğitim adımında bu işlem tekrarlanarak modele en uygun ağırlık değerlerinin hesaplanması hedeflenir. Bu eğitim aşamalarının her biri "epoch" (eğitim döngü sayısı) olarak adlandırılmaktadır. Epoch sayısının artması modelin başarımını da artırmaktadır. RNN ve özel bir türü olan LSTM gibi derin öğrenme ağlarında epoch sayısı diğer modellere kıyasla daha yüksek tutulmalıdır. Başarı düzeyi belirli bir epoch değerinden sonra çok küçük miktarda artış sergileyeceği için bu noktalarda eğitimin sonlandırılması gerekebilir [18].

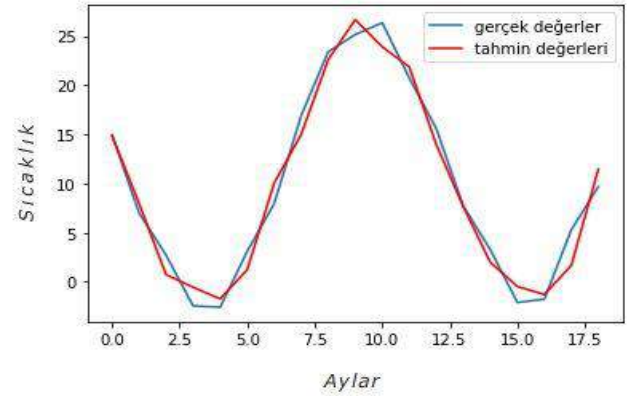
Veri kümesi seti fazla değişkenlik gösteriyorsa başarımların grafiği inişli çıkışlı olabilir. Verinin değiştirilme şansının olmadığı zamanlarda *batch* değeri değiştirilerek sorun giderilmektedir. Batch aşamasında, veri kümesi batch değeri olarak verilen değere göre parçalara ayrılır ve her iterasyonda model eğitimi bu parça üzerinden yapılır. Batch seçilirken verilerin rastgele seçilmesine önem gösterilmelidir.

Probleme, veri kümesi seti vb. gibi faktörlere bağlı kalınarak derin öğrenme modelini tasarlayan kişi en uygun *nöron* değerini de belirlemektedir. Bu çalışmada derin öğrenme modeline ait parametrelerden; Epochs, Batch ve Nöron sayılarında yapılan farklı denemeler sonucunda en iyi sonuç; 80 epoch, 1 batch ve 80 nöron alınarak bulunmuş yani gerçek değerlere en yakın tahmin değerleri elde edilmiştir. Şekil 5'te LSTM derin öğrenme modeli ile elde edilen gerçek değerler ile tahmini değerlere ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 5. LSTM modeli ile Solhan ilçesi sıcaklık tahmini grafiği

Şekil 5'te yer alan grafikler incelendiğinde, derin öğrenme modeli LSTM ile yapılan zaman serisi analizleri sonucunda hava sıcaklığı tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın bulunduğu gözlenmektedir.



Şekil 6. ARIMA modeli ile Solhan ilçesi sıcaklık tahmini grafiği

Şekil 6'da yer alan grafik incelendiğinde, bir istatistiksel modelleme yöntemi olan ARIMA ile yapılan analizler sonucunda hava sıcaklığı tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın bulunduğu görülmektedir.

Çalışmamızın birincil amacı, ortalama hava sıcaklığı verilerini kullanarak gelecek hava sıcaklığı tahmini için bir derin öğrenme modeli olan LSTM ve istatistiksel ARIMA modellerinin doğruluğunu değerlendirmektir. Bu kapsamda Tablo 2'de Solhan ilçesinde ölçülen gerçek sıcaklık değerleri ile ARIMA ve LSTM modeliyle tahminlenen sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

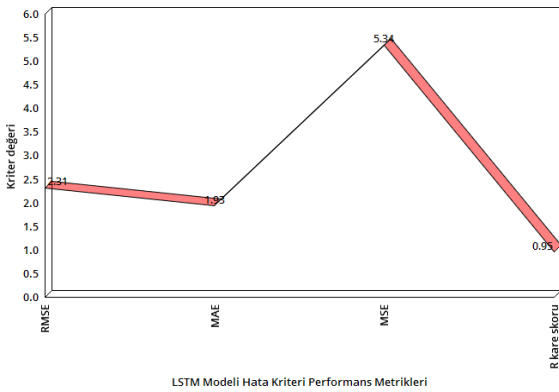
Tablo 2. Ölçülen gerçek sıcaklık değerleri, LSTM ve ARIMA ile tahmin edilen sıcaklık değerleri

Tarih	Aylık Ortalama Gerçek Sıcaklık Değeri (°C)	ARIMA Modeli ile Tahmin (°C)	LSTM Modeli ile Tahmin (°C)
Ekim 2018	14.96	14.86	15.97
Kasım 2018	6.99	7.97	9.13
Aralık 2018	2.71	0.72	3.69
Ocak 2019	-2.45	-0.55	2.49

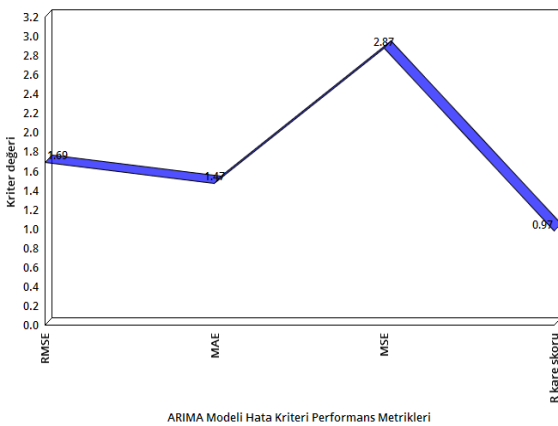
Şubat 2019	-2.58	-1.73	0.67
Mart 2019	3.09	1.22	2.22
Nisan 2019	7.95	10.04	9.31
Mayıs 2019	16.92	15.00	14.50
Haziran 2019	23.41	22.59	22.90
Temmuz 2019	25.15	26.68	26.44
Ağustos 2019	26.37	23.91	23.36
Eylül 2019	20.75	21.87	19.99
Ekim 2019	15.60	13.97	11.45
Kasım 2019	7.70	7.66	6.59
Aralık 2019	3.29	1.99	2.57
Ocak 2020	-2.10	-0.46	2.24
Şubat 2020	-1.77	-1.28	0.84
Nisan 2020	9.68	11.46	11.77

Tablo 2’de yer alan gerçek ve tahmini hava sıcaklığı değerleri incelendiğinde, LSTM ve ARIMA ile yapılan analiz sonucunda tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın olduğu görülmektedir.

Çalışmamızın ikinci amacı ise, bu modellerin gerçeğe yakın değerler elde etmede performans ölçütlerinin karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda belirli bir algoritmanın/modelin çalışma türü ve güvenilirliği hakkında bize kanıt sağlayan özel formüllerden oluşan hata kriteri ölçütleri ile derin LSTM modelinde ve bir zaman serisi tahmin analizi sunan ARIMA modelinde ayrı olarak hesaplanmış ve grafik ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Şekil 7, Şekil 8).



Şekil 7. Derin LSTM modelinde hata kriteri değerleri



Şekil 8. ARIMA modelinde hata kriteri değerleri

Şekil 7 ve Şekil 8’de yer alan grafikler incelendiğinde; LSTM modelinde MAE 1.930, MSE 5.344, RMSE 2.312 ve R kare skoru değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır. ARIMA modelinde ise; MAE 1.478, MSE 2.877, RMSE 1.696 ve R kare skoru değerinin 0.97 olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Bu araştırma Bingöl’ün Solhan ilçesini çalışma alanı olarak belirleyerek, LSTM ve ARIMA modellerinin hava sıcaklığını tahmin etmedeki doğruluğunu test etmeyi ve iki model arasında performans karşılaştırması yapmayı amaçlamıştır. Seçilen modelin veri seti ile uyum durumunu ifade eden R kare skoru değerinin LSTM modelinde 0.95, ARIMA modelinde ise 0.97 olarak bulunması, veri setimiz için en uygun modellerin seçildiğini göstermektedir. Seçilen modeller RMSE, MAE, MSE gibi doğruluk ölçütleri açısından incelenmiştir. En önemli performans ölçütlerinden biri olarak kabul edilen RMSE değeri ARIMA modelinde 1.696, LSTM modelinde ise 2.312 olarak bulunmuştur. RMSE metriğinin sıfır değerini alması modelin hiç hata yapmadığı anlamına gelmektedir. Performans karşılaştırması yapıldığında, doğruluk ölçüt değerlerinin iki modelde de yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür. Derin öğrenme modeli LSTM ve istatistikî model ARIMA’nın sıcaklık serisi tahmininin doğruluğu uygun ve tatmin edicidir. Gelecekteki çalışmalar, çok değişkenli, çok adımlı ve çok bölgeli bir hava durumu tahmin problemi oluşturmak için daha fazla konunun dahil edilmesini ve daha karmaşık derin öğrenme tabanlı tahmin modelleri kullanımını içerebilir.

5. Teşekkür

Bu bilimsel çalışma sürecini gerçekleştirmek için gerekli verilerin kullanımına izin veren T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne teşekkürü borç biliriz.

Kaynakça

- [1] Yu, X., Shi, S., & Xu, L. (2021). A spatial-temporal graph attention network approach for air temperature forecasting. *Applied Soft Computing*, 107888.
- [2] Rahman, A. A., & Zhang, X. (2018). Prediction Of Oscillatory Heat Transfer Coefficient For A Thermoacoustic Heat Exchanger Through Artificial Neural Network Technique. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 1088-1096.
- [3] Haykin, S. (2010). *Neural Networks and Learning Machines*, 3/E. Pearson Education India.
- [4] Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları* (3.Baskı). İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- [5] He, K., Ji, L., Wu, C. W. D., & Tso, K. F. G. (2021). Using SARIMA-CNN-LSTM approach to forecast daily tourism demand. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 49, 25-33.
- [6] Torres, J. F., Hadjout, D., Sebaa, A., Martínez-Álvarez, F., & Troncoso, A. (2021). Deep Learning for Time Series Forecasting: A Survey. *Big Data*, 9(1), 3-21.
- [7] Tath, H., & Şen, Z. (1999). A new fuzzy modelling approach for predicting the maximum daily temperature from a time series. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23(3), 173-180.

- [8] Bilgili, M., & Sahin, B. (2009). Prediction of long-term monthly temperature and rainfall in Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(1), 60-71.
- [9] Liu, J.N., Hu, Y., He, Y., Chan, P.W., Lai, L. (2015). Deep neural network modeling for big data weather forecasting, in: *Information Granularity, Big Data, and Computational Intelligence*. Springer, pp. 389–408.
- [10] Soares, E., Costa Jr, P., Costa, B., & Leite, D. (2018). Ensemble of evolving data clouds and fuzzy models for weather time series prediction. *Applied Soft Computing*, 64, 445-453.
- [11] Vantuch, T., & Zelinka, I. (2015). Evolutionary based ARIMA models for stock price forecasting. In *ISCS 2014: Interdisciplinary Symposium on Complex Systems* (pp. 239-247). Springer, Cham.
- [12] Süzen,A.A.,Kayaalp,K.,Derin Öğrenme Yöntemleri İle Sıcaklık Tahmini: Isparta İli Örneği,International Academic, Research Congress, 2018.
- [13] Eze, N., Asogwa, O., Obeta, A., Ojide, K., & Okonkwo, C. (2020). A time series analysis of federal budgetary allocations to education sector in Nigeria (1970–2018). *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 8(1), 1-8.
- [14] Roy, D. S. (2020). Forecasting the Air Temperature at a Weather Station Using Deep Neural Networks. *Procedia Computer Science*, 178, 38-46.
- [15] Nisha, S. S., Sathik, M. M., & Meeral, M. N. (2021). Application, algorithm, tools directly related to deep learning. In *Handbook of Deep Learning in Biomedical Engineering* (pp. 61-84). Academic Press.
- [16] Alabdulrazzaq, H., Alenezi, M. N., Rawajfih, Y., Alghannam, B. A., Al-Hassan, A. A., & Al-Anzi, F. S. (2021). On the accuracy of ARIMA based prediction of COVID-19 spread. *Results in Physics*, 27, 104509.
- [17] Demirezen, S. (2020). *Türkiye’de Gün Öncesi Piyasası İçin Elektrik Fiyatlarının Tahmini*. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [18] Çarkacı, N. (2018). Derin Öğrenme Uygulamalarında En Sık Kullanılan Hiper-parametreler. İnternet Adresi: <https://medium.com/deep-learning-turkiye/derin-ogrenme-uygulamalarinda-en-sik-kullanilan-hiper-parametreler-ece8e9125c4> Erişim tarihi: 15.10.2021



Android Tabanlı QR Kod Teknolojisi ile Desteklenen Envanter Takip Sisteminin Geliştirilmesi

Cağlar Gurkan^{1*}, Merih Palandoken^{1,2,3}

^{1*} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4652-3363), caglar.gurkan@outlook.com

² İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Yapay Zeka ve Veri Bilimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3487-2467), merih.palandoken@ikc.edu.tr

³ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Akıllı Fabrika Sistemleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3487-2467), merih.palandoken@ikc.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014193)

ATIF/REFERENCE: Gurkan, C. & Palandoken, M. (2021). Android Tabanlı QR Kod Teknolojisi ile Desteklenen Envanter Takip Sisteminin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1229-1232.

Öz

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte günlük hayatımızdaki birçok aktivite daha kolay hale gelmiştir. Bu teknolojik gelişmeler, günlük hayatımıza ek olarak endüstride de bir dönüşüm dönemini başlatmıştır. Teknolojik dönüşümün bir sonucu olarak ise endüstrideki dijitalleşme önemli ölçüde hızlanmıştır. Böylelikle akıllı fabrika terimi ortaya çıkmıştır. Nesnelerin interneti ise akıllı fabrikaların en önemli teknolojik bileşenlerinden biridir. Bu çalışmada, akıllı fabrikalardaki envanterin takibini kolaylaştırmak ve zaman kazancını sağlamak amacı ile uçtan uca bir sistem tasarımı önerilmiştir. Bu sistem tasarımının geliştirilmesi için QR kod tasarımları, Android mobil sistem teknolojileri ve Firebase kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Android, Envanter takip, Firebase, Nesnelerin interneti, QR kod.

Development of Inventory Tracking System Supported by Android-Based QR Code Technology

Abstract

In recent years, with the development of technology, many activities in our daily life have become easier. These technological developments have started a transformation era in the industry in addition to our daily life. As a result of the technological transformation, digitalization in the industry has considerably accelerated. Thus, the term smart factory emerged. The Internet of Things is one of the most important technological components of smart factories. In this study, an end-to-end system design has been proposed in order to ease the tracking of the inventory and save time in the smart factories. QR code designs, Android mobile system technologies, and Firebase were used to develop this system design.

Keywords: Android, Inventory tracking, Firebase, Internet of things, QR code.

* İlgili Yazar: caglar.gurkan@outlook.com

1. Giriş

Envanterin takibi üretim tesisleri açısından oldukça önemli bir konudur. Son birkaç on yıl öncesine kadar envanterin takibi süreci kağıt tabanlı kayıt sistemleri ile manuel olarak işletilmekteydi. Fakat daha sonra Bernard Silver tarafından 1948 yılında barkod teknolojisi ilk kez tanıtılmıştır (Sri Krishna Kumar et al., 2015). Bu teknolojik yenilik ile birlikte envanter takip sistemleri şirketler ve akademisyenler tarafından dikkat çekici bir araştırma alanı olarak nitelendirilmiştir. Ek olarak envanterin takibi bir karar verme aracı olarak da nitelendirilebilmektedir. Bunun nedeni ise üretim tesislerindeki iş akışı içerisindeki envanterin takip edilmesinin önemidir (Kittiwat Nimkerdphol et al., 2018).

QR kod teknolojisinin kullanım alanı, Android ve iOS işletim sistemine sahip kamera donanımlı mobil cihazların günlük hayattaki öneminin artması ile birlikte genişlemiştir (Cox & Shiffler Dean, 2014). Bu bağlamda literatürdeki mevcut çalışmalar şu şekildedir. Rusya'da Volgograd Üniversitesinde mevcut eğitim ve öğretim sistemini iyileştirmek amacıyla QR kod tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama, öğrencilerin interaktif olarak öğrenmesini sağlayan artırılmış gerçeklik destekli oyunlara erişiminin sağlanmasında kullanılmıştır (Korobov, Epinina, & ..., 2016). Hendry ve ark. tarafından yapılan çalışmada, üniversitelerde öğrenci yoklama alınması sürecinin hızlandırılması amacıyla QR kod teknolojisi tabanlı bir sistem tasarımı geliştirilmiştir (Hendry, Rahman, 2017).

Bu çalışmanın başlıca amacı ise, Endüstri 4.0 kapsamında sanayideki dijital dönüşüme katkı sunmaktır. Bu bağlamda, akıllı fabrikalardaki envanterin takibini sağlamak amacı ile bir sistem tasarımı önerilmiştir. Bu sistem tasarımının oluşturulması için Android tabanlı QR kod teknolojisi kullanılmıştır. Böylelikle ilgili envanteri alan kişinin ad ve soyad bilgisine ek olarak envanterin alınma zamanı bilgisi Android mobil cihazların arayüzünden takip edilebilmektedir.

Çalışmanın geri kalan bölümü şu şekilde düzenlenmiştir; kullanılan yöntemler 2. bölümde sunulmuştur, elde edilen sonuçlar 3.bölümde aktarılmıştır, gelecek çalışmalar da dahil olmak üzere çalışma hakkındaki son bilgiler ise 4. bölümde sunulmuştur.

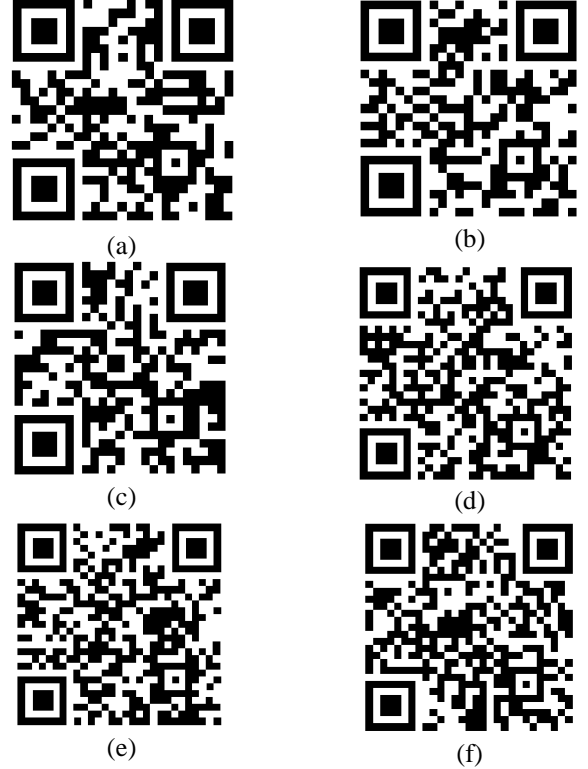
2. Materyal ve Metot

Envanter takip sisteminin oluşturulması için kullanılan yöntemler bu bölümde sunulmuştur.

Python programlama dilinde qr kütüphanesinin kullanılmasıyla Spyder tümleşik geliştirme ortamında (IDE) QR kod tasarımları oluşturulmuştur. QR kodların içerisine 'alınan cihaz: cihazın adı' veya 'bırakılan cihaz: cihazın adı' formatına sahip olacak şekilde bilgiler gömülmüştür. Daha sonra QR kodlar 300x300 piksel olarak yeniden boyutlandırılmış ve '.png' uzantısıyla kaydedilerek QR kod oluşturma süreci tamamlanmıştır. Matkap, multimetre ve tornavida setinin bırakılması ve alınması olmak üzere iki farklı formatta oluşturulan QR kod tasarımları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Android tabanlı mobil uygulama ise Android Studio IDE'sinde Java programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. RelativeLayout ve LinearLayout, Android XML yapısında yerleşim türü olarak kullanılmıştır. Bu yerleşim türleri içerisinde CardView, TextView, ImageView, ScrollView ve Button gibi

Android bileşenleri kullanılarak mobil uygulamanın arayüz tasarımı oluşturulmuştur. Firebase ise gerçek zamanlı veritabanı olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Ad ve soyad bilgisi olmak üzere envanteri alan veya bırakan kişinin takip edilmesi için mobil uygulamaya kayıtlanma süreci eklenmiştir. Ek olarak envanterin alınma veya bırakılma saatinin de takip edilebilmesi için calendar kütüphanesi kullanılmıştır. Android tabanlı QR kod okuyucusunun oluşturulması aşamasında ise üçüncü parti kütüphaneler kullanılmıştır.



Şekil 1. (a) Matkap alımı için tasarlanan QR kod, (b) Matkap bırakımı için tasarlanan QR kod, (c) Multimetre alımı için tasarlanan QR kod, (d) Multimetre bırakımı için tasarlanan QR kod, (e) Tornavida seti alımı için tasarlanan QR kod, (f) Tornavida seti bırakımı için tasarlanan QR kod

Android tabanlı mobil uygulama aracılığıyla QR kodların okutulması sonucunda envanterin takibi için iki farklı durum aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

a) Envanter alma işlemi: Oluşturulan QR kodun okutulması sonucunda envanteri alan kişinin ad ve soyad bilgisine ek olarak envanterin alınma zamanı bilgisi Firebase gerçek zamanlı veritabanına aktarılmıştır.

b) Envanter bırakma işlemi: Oluşturulan QR kodun okutulması sonucunda envanteri bırakan kişinin ad ve soyad bilgisine ek olarak envanterin bırakılma zamanı bilgisi Firebase gerçek zamanlı veritabanına aktarılmıştır. Ayrıca bu aşamada, veritabanındaki ilgili envanterin alınma işlemi bölümüne 'Cihazı alan kişi bulunmamaktadır. Envanteri kontrol ediniz' şeklinde bir uyarı yazısı gönderilmiştir.

Ek olarak envanteri alan kişiyi öğrenmek içinde bir arayüz tasarımı oluşturulmuştur. Bu aşamada veritabanı sorgu yöntemleri kullanılmıştır. Böylelikle arayüzde envanteri alan kişinin ad ve soyad bilgisine ek olarak envanterin alınma zamanı gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, eğer envanter herhangi bir kişide değilse arayüzde 'Cihazı alan kişi bulunmamaktadır. Envanteri kontrol ediniz' şeklinde bir uyarı yazısı gözlemlenmektedir. Şekil

2’de oluşturulan veritabanı için ‘parent-child’ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2. Veritabanına ait ‘parent-child’ yapısı

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada elde edilen sonuçlar bu bölümde aktarılmıştır.

Matkap, tornavida seti ve multimetre olmak üzere üç adet cihazın takibi için oluşturulan arayüz Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu cihazların her biri arayüze CardView bileşeni kullanılarak dahil edilmiştir.



Şekil 3. Envanter takip sistemi arayüz tasarımı

Multimetre için kullanılan CardView bileşenine tıklanması sonrasında Şekil 4’de gösterilen arayüze geçilmektedir. Bu arayüzde cihaz alma, cihaz bırakma ve cihaz kimde ipucu ile birlikte kullanılan üç adet buton bileşeni yer almaktadır. Aynı arayüz tasarımı matkap ve tornavida seti cihazları için de oluşturulmuştur.



Şekil 4. Multimetre takip sistemi arayüz tasarımı

Arayüzde yer alan cihaz alma veya cihaz bırakma butonlarına tıklanması sonrasında Şekil 5’te gösterilen arayüze geçilmektedir. Bu arayüzde ‘lütfen qr kodu okutunuz’ ipucu ile birlikte kullanılan bir buton bileşeni yer almaktadır. Bu butona tıklanması sonrasında Şekil 6’da gösterilen QR kod okutma işlemine geçilmektedir.



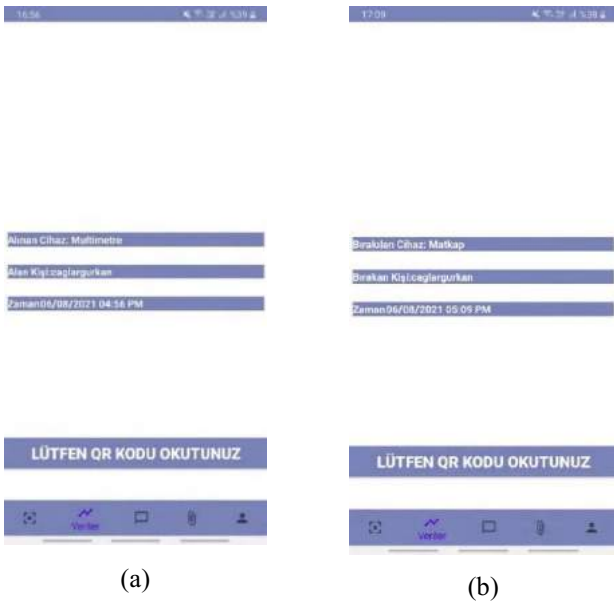
Şekil 5. QR kod okutma işlemi için oluşturulan arayüz tasarımı



Şekil 6. QR kod okutma işlemi

Cihaz alımı için oluşturulan QR kodun okutulması ile elde edilen sonuç Şekil 7 (a)’da gösterilmiştir. Cihaz bırakımı için oluşturulan QR kodun okutulması ile elde edilen sonuç ise Şekil 7 (b)’de gösterilmiştir. Şekil 7 (a) ve (b)’de gösterilen arayüz tasarımlarında veritabanı sorgulama yöntemleri elde edilen sonuçların gözlemlenebilmesi ‘alınan cihaz: alınan cihazın ismi’ veya ‘bırakılan cihaz: bırakılan cihazın ismi’, ‘alan kişi:’, ‘cihazı alan kişiye ait ad ve soyad bilgileri’ veya ‘cihazı bırakan kişiye ait ad ve soyad bilgileri’, ‘zaman:’ ve ‘cihazın alınma zamanı bilgisi’ veya ‘cihazın bırakılma zamanı bilgisi’ olmak üzere beş adet TextView bileşeni kullanılmıştır.

Şekil 4’deki arayüzde yer alan ve cihaz kimde ipucu ile birlikte verilen butona tıklanması sonrasında Şekil 8 (a) ve (b)’de gösterilen arayüzlere geçilmektedir. Bu arayüz aracılığıyla cihazın o an kimde olduğunun ve alınma zamanının takibi sağlanmaktadır. Şekil 8 (a) ve (b)’de gösterilen arayüz tasarımlarında veritabanı sorgulama yöntemleri elde edilen sonuçların gözlemlenebilmesi ‘cihazı alan kişiye ait ad ve soyad bilgileri’ veya ‘Cihazı alan kişi bulunmamaktadır’ uyarı yazısı ve ‘cihazın alınma zamanı bilgisi’ veya ‘envanteri kontrol ediniz’ uyarı yazısı olmak üzere iki adet TextView bileşeninden oluşan CardView bileşeni kullanılmıştır.



Şekil 7. (a) Cihazın alınması sonrasında elde edilen sonuçlar ve arayüz tasarımı, (b) Cihazın bırakılması sonrasında elde edilen sonuçlar ve arayüz tasarımı



Şekil 8. (a) Cihaz herhangi bir kişideyken elde edilen sonuçlar ve arayüz tasarımı, (b) Cihaz herhangi bir kişide değilken elde edilen sonuçlar ve arayüz tasarımı

4. Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada, akıllı fabrikalardaki envanerin takibi sağlanmıştır. Bunun için Android tabanlı QR kod teknolojisi kullanılmıştır. Böylelikle cihaz alımı esnasında ilgili cihaza ait alım QR kodunun okutulması sonucunda alan kişinin ad ve soyad bilgisine ek olarak cihazın alınma zamanı bilgisi Android mobil cihazların arayüzünden takip edilebilmektedir. Ek olarak cihaz bırakımı esnasında ilgili cihaza ait bırakma QR kodunun okutulması sonucunda envanter takip sistemi arayüzünde 'Cihazı alan kişi bulunmamaktadır. Envanteri kontrol ediniz' şeklinde bir uyarı yazısı gösterilmektedir. Sonuç olarak, akıllı fabrikalardaki envanerin takibi sürecini kolaylaştıran ve zaman kazancı sağlayan uçtan uca bir sistem tasarımı oluşturulmuştur. Yapılacak gelecek çalışmalar arasında; QR kodun kullanımı ile takibi sağlanan envanerin sayısının artırılması, Android tabanlı mobil

uygulamanın iOS işletim sistemine sahip mobil cihazlar için de geliştirilmesi ve envanter takibinin web uygulaması ile de desteklenmesi yer almaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Proje no: 2021-TYL-FEBE-0009 tarafından desteklenmiştir.

Referanslar

Sri Krishna Kumar, S., Chandni, G., Meenal, A. L., Kalaimohan, T. S., Senthil Kumar, R., & Sugavanam, K. R. (2015). BLE enhanced decentralised work time sheet and real time monitoring using smart id card. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(18), 8080–8084.

Kittiwan Nimkerdphol, D. R., Rd, N., Amphoe, T., Luang, K., Wat, C., & Thani, P. (2018). Inventory Management System Using QR Code on Android a Case Study in Computer Engineering Department. In *Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 3(1).

Cox, S., & Shiffler Dean, R. E. (2014). Extent of QR Code Adoption by Consumers. *International Journal of Business*, 4(6), 2012–2015.

Korobov, S. A., Epinina, V. S., & ... (2016). Implementation of QR-technology in academic process of management-education. *European Journal of ...*, 5.

Hendry, R. & Rahman, M. (2017). Smart Attendance System Applying QR Code. *Cpfd.Cnki.Com.Cn*. <https://doi.org/10.15242/iie.e0517002>



Kişisel Bilgiler ve Günlük Aktiviteler Gibi Tetikleyicilerin Migren Atağı Üzerindeki Etkilerinin Makine ve Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Analizi

Çağlar Gurkan^{1*}, Sude Kozalioglu², Merih Palandoken^{1,3,4}

^{1*} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4652-3363),

caglar.gurkan@outlook.com

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2377-1989), sudekozalioglu@gmail.com

³ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Yapay Zeka ve Veri Bilimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3487-2467),

merih.palandoken@ikc.edu.tr

⁴ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Akıllı Fabrika Sistemleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3487-2467),

merih.palandoken@ikc.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014212)

ATIF/REFERENCE: Gurkan, C., Kozalioglu, S. & Palandoken, M. (2021). Kişisel Bilgiler ve Günlük Aktiviteler Gibi Tetikleyicilerin Migren Atağı Üzerindeki Etkilerinin Makine ve Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1233-1236.

Öz

Dünyadaki en yaygın üçüncü hastalık olan migren, hastaların yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kişisel bilgilerin ve genetik özelliklerin migren hastalığı üzerindeki etkisi bilinmektedir. Yapay zekanın kullanımıyla sağlık alanındaki verilerin analiz edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılan veri seti 'migren atağı olan' ve 'migren atağı olmayan' günlerde elde edilen ve çeşitli migren tetikleyicilerini içeren 4579 örnekten oluşmaktadır. Bu tetikleyicilerin etkisi ile gün içinde migren atağı olan veya olmayan hastalar makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Tüm analizler içerisinde, en yüksek kestirimci performans çok katmanlı algılayıcı algoritması tarafından %99.7 doğruluk oranı ve %97.7 F1-skoru ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Migren atakları, Migren tetikleyicileri, Yapay zeka, Makine öğrenmesi, Derin öğrenme

Analysis of the Effects of Triggers Like Personal Information and Daily Activities on Migraine Attack with Machine and Deep Learning Approaches

Abstract

Migraine the third most common disease in the world, is negatively affected the quality of life of patients. The effect of personal information and genetic characteristics on migraine disease is known. It is quite important to analysed data in the field of health with the use of artificial intelligence. The data set used in this study consists of 4579 samples obtained on 'with a migraine attack' and 'without a migraine attack' days and containing several migraine triggers. With the effect of these triggers, the patients with or without migraine attacks during the day were analyzed using machine learning and deep learning methods. Among all analyses, the highest predictive performance has been obtained by the multilayer perceptron algorithm with an accuracy of 99.7% and an F1-score of 97.7%.

Keywords: Migraine attacks, Migraine triggers, Artificial intelligence, Machine learning, Deep learning

* İlgili Yazar: caglar.gurkan@outlook.com

1. Giriş

Migren, dünyadaki en yaygın üçüncü hastalık olmakla birlikte hastaların yaşam kalitesini en fazla olumsuz etkileyen altıncı hastalıktır. Nörolojik hastalıklar içerisinde ise en yaygın olan migren dünya çapında 1 milyar insanın hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Ek olarak, 4 milyondan fazla yetişkinin, ayda en az 15 gün migren ağrısı yaşadığı bilinmektedir (Migraineresearchfoundation.org, 2015). Migren hastalarının genellikle yüksek sese ve ışığa karşı duyarlılıkları bulunmaktadır (Mayo Clinic, 2020). Migren hastalığı bulunan kişiler günlük hayat içerisindeki işlerini bile tamamlamakta zorlanabilmektedirler. Çoğu araştırma migren tedavisine veya ağrılarını minimuma indirmeye yönelik yapılmıştır. Bununla birlikte migren ağrılarının nedenlerinin de araştırılması gerekliliği bulunmaktadır. Son yıllarda, yapay zeka algoritmalarının sağlık alanında sıklıkla kullanılması bu alanda yapılacak tanı ve tedavi gibi çalışmaları kritik bir noktaya getirmiştir.

Migren oluşumlarının önceden tahmin edilmesi hem önlenmesi hem de hafifletilmesi açısından oldukça önemlidir. Böylelikle hastalar baş ağrıları konusunda daha çok bilgi sahibi olabilirler. Baş ağrılarını tetikleyen durumlar önenebilir. Sonuç olarak ise hastalar şiddetli migren ağrılarından kurtulabilirler. Bu destekleyici sağlık sisteminin oluşturulması için makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri, belli migren tetikleyicileri ile migren oluşma durumu arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılabilir.

Bu çalışmanın başlıca amacı ise migren hastalığı üzerindeki tetikleyicilerin kullanımı ile birlikte doğru bir migren atağı tahmin sisteminin oluşturulmasıdır. Bu bakımından tahmin sürecine dahil edilen migren tetikleyicisinin sayısı önemli bir konudur. Bu bağlamda 22 adet tetikleyiciyi ve 4579 adet örneği içeren bir veri seti, migren atağı yaşanan veya yaşanmayan gün olmak üzere iki sınıfta sınıflandırma görevinde deneysel analiz aşamasında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sınıflandırıcı algoritmalar ise naïve bayes (NB), destek vektör makineleri (DVM), k-en yakın komşu (KNN), karar ağaçları, lojistik regresyon (LR), rastgele orman, Gradyan Artırma Makineleri (GBM), Ekstrem Gradyan Artırma (XGBoost), hafif gradyan artırma makineleri (LightGBM), kategorik hızlandırma (CatBoost), çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) şeklindedir. Tüm bu sınıflandırıcı algoritmalar içerisinde, ÇKA algoritması %99.7 doğruluk oranı ve %97.7 F1-skoru ile en yüksek tahmin performansını elde etmiştir. Sonuç olarak, yüksek bir başarı oranına sahip olan ve migren atağının tahminlenmesini sağlayan bir karar destek sistemi bu çalışmada geliştirilmiştir.

Çalışmanın geri kalan kısmı ise şu şekilde düzenlenmiştir; 2. bölümde benzer çalışmalardan söz edilmiştir, 3. bölümde kullanılan veri setinin özellikleri belirtildikten sonra çalışmada kullanılan yöntem, yazılım ve donanım bilgileri aktarılmıştır, 4. bölümde kullanılan yöntemler ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiş, yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır, 5. bölümde ise çalışma ile ilgili son bilgiler aktarılmıştır.

2. İlgili Çalışmalar

Bu bölümde ilgili alandaki benzer önceki çalışmalar aktarılmaktadır.

Berenguere ve Cadiou geliştirdikleri mobil uygulama aracılığı ile yarım milyondan fazla migren hastasına ait bilgileri kullanarak kendi veri setlerini oluşturmuşlardır. Sonrasında bu

verileri manuel olarak analiz etmişlerdir (Berenguere & Cadiou, 2016). Liu vd. migren ağrılarının nasıl yönetileceğini öğrenmek için video, ses ve animasyonlu talimatlar ile hastaları yönlendiren bir uygulama geliştirmişlerdir. Ek olarak, hastaların ağrılarını kendileri tarafından rapor ettikleri çeşitli tetikleyicileri içeren bir baş ağrısı günlüğü oluşturmuşlardır. Fakat hastaların kendi ağrılarını rapor ettikleri bu sistem, hastaların, migrenin tıbbi niteliklerini yeterince bilmemesi nedeni ile objektif olmayan sonuçları meydana getirmiştir. Makine öğrenimini sürece dahil edildiğinde, insan hataları azalırken ve sonuçlar daha güvenilir hale geldiğini de aktarmışlardır (Liu, Holroyd, Zhu, Shen, & Zhou, 2010). Garcia-Chimeno vd. 52 migren hastasına (15 kontrol grubu, 19 sporadik migren hastası ve 18 kronik migren ve aşırı ilaç kullanımı olan migren hastası) bir anket uygulamışlardır. Elde ettikleri verileri ise NB, DVM ve AdaBoost gibi makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırıcıları kullanarak analiz etmişlerdir. Ayrıca çalışmada farklı öznelik seçimi algoritmalarını da test etmişlerdir (Garcia-Chimeno, Garcia-Zapirain, Gomez-Beldarrain, Fernandez-Ruano, & Garcia-Monco, 2017).

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Veri Seti ve Veri Ön İşleme

Kullanılan veri seti, 'Analysis of Trigger Factors in Episodic Migraineurs Using a Smartphone Headache Diary Applications' başlıklı çalışmada oluşturulmuştur (Park, Chu, Kim, Park, & Cho, 2016). Bu veri seti bir anket yöntemi ile elde edilirken, katılımcılara çeşitli tetikleyicilere cevap olarak bire denk gelen 'Evet' veya sifıra denk gelen 'Hayır' cevabını vermeleri istenmiştir. Veri setinde; stres, uyku durumu, egzersiz yapma durumu, yorgunluk, hormonal değişiklikler, duygusal değişiklikler, hava değişiklikleri, güneş ışığı, gürültü, aydınlatma durumu, kokular, alkol tüketimi, beslenme durumu, kafein tüketimi, sigara tüketimi, tüketilen besinin türü, seyahat vb. gibi çeşitli 22 adet tetikleyici yer almaktadır. Bununla birlikte, geçmiş tetikleyicilerden gelen 0 ve 1 cevaplarının sayısal toplamı da bir öznelik olarak veri setine eklenmiştir. Bu çalışmada, migren tetikleyicileri, iki sınıfta sınıflandırma görevi olan 'migren atağı yaşama' veya 'migren atağı yaşamamayı' tahmin etmek için kullanılmıştır.

Veri seti migren atağı yaşanan veya yaşanmayan günlerde elde edilen 4579 adet örnekten oluşmaktadır. Veri setinde yer alan eksik değerler 0 olarak ayarlanmıştır. İlgili tetikleyici yanlılarının sayısal toplamları da veri setinde 3 adet öznelik boyutunda olacak şekilde yer aldığı için min-max özellik ölçeklendirme kullanılmış ve veri setindeki ilgili öznelikler 0-1 aralığında yeniden ölçeklendirilmiştir. Ek olarak, deneysel analiz on kat çapraz doğrulama kullanılmıştır.

3.2. Kullanılan Sınıflandırıcı Algoritmalar

Bu bölümde, deneysel analiz aşamasında kullanılan sınıflandırıcı algoritmalar sunulmuştur. Kullanılan bu algoritmalar; NB, DVM, KNN, karar ağaçları, LR, rastgele orman, GBM, XGBoost, LightGBM, CatBoost, ÇKA şeklindedir.

NB algoritması, Bayes teorimini ve veri setindeki öznelikler arasındaki koşullu bağımsızlığını temel alan bir sınıflandırma algoritmasıdır (Han, Kamber, & Pei, 2012). Bu algoritma, sınıflandırma işlemindeki hesaplama sürecini basitleştirmektedir. Buna rağmen yüksek doğruluk oranında sınıflandırma performansı göstermektedir. DVM algoritması, sınıflandırma ve regresyon problemleri için sıklıkla kullanılan ve başarılı sonuçların elde edildiği bir yöntemdir. DVM algoritması

sınıflandırma problemlerinde, doğrusal veya doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılmasında kullanılabilen bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. DVM ilk olarak iki sınıflı sınıflandırma problemleri için sonrasında ise çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde kullanılmıştır (Cortes & Vapnik, 1995). KNN algoritması, sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılan, örnek tabanlı parametrik olmayan denetimli öğrenme algoritmasıdır. KNN algoritması uzaklık ve komşuluk sayısı ($n_neighbors$) olmak üzere 2 farklı temel parametreyi kullanarak sınıflandırma işlemini yapmaktadır. Az sayıda parametreyi incelemesine rağmen sınıflandırma problemlerinde iyi sonuçlar verebilmektedir. Karar ağaçları algoritması, hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde çok çıktılı olarak kullanılabilir. Karmaşık veri setlerinde iyi bir performans göstermektedir. Çok fazla veri ön işleme gerekliliği olmaması nedeni ile kullanılabilirliği yüksek bir algoritmadır. Birtakım karar mekanizması sistemleri kullanılarak büyük verilerin daha küçük veri kümelerine ayrılması sistematiği üzerinden çalışmaktadır (Safavian & Landgrebe, 1991). LR algoritması, sınıflandırma problemlerinde kullanılmak amacıyla doğrusal regresyonu temel alan bir sınıflandırma algoritmasıdır (Ruppert, 2004). Rastgele orman algoritması, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılabilen topluluk öğrenmesi yöntemidir. Rastgele orman, karar ağaçlarına dayalı olarak torbalama ve rastgele alt uzay algoritmasını birleştiren bir algoritmadır. Her ağaç, veri kümesinin eğitim bölümünün bootstrap örneklerine dayalı olarak oluşturulmaktadır (Breiman, 2001). Topluluk öğrenmesi yöntemi olan yükseltme algoritmaları, sıralı bir süreçten oluşmaktadır ve her başarılı işlemde önceki işlemin hatalarını düzeltmeye çalışmaktadır. Bu algoritmada, birbirini izleyen her süreç bir önceki sürece bağlıdır (Mayr, Binder, Gefeller, & Schmid, 2014). Yükseltme algoritmaları, eğitilen modelin önyargısını azaltmayı amaçlar. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan birkaç yükseltme algoritması kullanılmış olup bunlar: GBM, XGBoost, LightGBM ve CatBoost'dur.

ÇKA algoritması ile sınıflandırma işlemi yapılabilmesi için oluşturulan mimari tasarım giriş ve çıkış katmanlarına ek olarak birbirini takip eden 4 adet gizli katmandan oluşmaktadır. Toplam 6 katmanlı mimari tasarım için; giriş katmanında öznetelik sayısı olan 25 kadar nöron, ilk gizli katmanda 64 adet nöron, diğer 3 gizli katmanda sırası ile 32, 16 ve 8 adet nöron kullanılırken, çıkış katmanında sınıf sayısı olan 2 kadar nöron kullanılmıştır. 4 gizli katman için aktivasyon fonksiyonu 'ReLU' olup çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu 'softmax'dir. Optimizasyon fonksiyonu ve kayıp fonksiyonu olarak sırasıyla 'Adam' ve 'seyrek kategorik çapraz entropi' kullanılmıştır. Öğrenme oranı ise varsayılan değer olan 0.001 olarak seçilmiştir. Küme boyutu ise 16, 32, 64, 128 ve 256 olarak farklı değerlerde algoritmaya dahil edilmiştir. ÇKA modelleri 100 epoch boyunca eğitilmiştir.

Makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırıcılar için scikit-learn kütüphanesi kullanılırken ÇKA sınıflandırıcısı için Keras kütüphanesi kullanılmıştır. Tüm sınıflandırıcı algoritmalar Python programlama dilinde Spyder entegre geliştirme ortamında (IDE) oluşturulmuştur. Kullanılan donanım ise NVIDIA GTX 950M'dir. Sınıflandırıcı algoritmaların kullanımı ile elde edilen sonuçlar, karşılaştırılmalı analizlerle birlikte bölüm 4'de gösterilmiştir. Migren oluşumlarının önceden tahmin edilmesi hem önlenmesi hem de hafifletilmesi açısından oldukça önemlidir. Böylelikle hastalar baş ağrıları konusunda daha çok bilgi sahibi olabilirler. Baş ağrılarını tetikleyen durumlar önlenebilir. Sonuç olarak ise hastalar şiddetli migren ağrılarından kurtulabilirler. Bu destekleyici sağlık sisteminin oluşturulması

için makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri, belli migren tetikleyicileri ile migren oluşma durumu arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılabilir.

3.3. Performans Değerlendirme Metrikleri

Doğru Pozitif (TP), Doğru Negatif (TN), Yanlış Pozitif (FP), Yanlış Negatif (FN) değerleri sırayla; doğru sınıflandırılan pozitif sınıf sayısını, doğru sınıflandırılan negatif sınıf sayısını, yanlış sınıflandırılmış pozitif sınıf sayısını ve yanlış sınıflandırılmış negatif sınıf sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada, sınıflandırıcı modellerin performanslarını daha gerçekçi inceleyebilmek amacı ile doğruluk ve F1-skoru metrikleri kullanılmıştır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F1\text{-skor} = \frac{2 \times \text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

4. Deneysel Analiz ve Sonuçlar

Deneysel analizde, makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı sınıflandırıcıların kullanılması ile elde edilen sonuçlar iki farklı tabloda sunulmuştur. Tablo 1'de makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile elde edilen deneysel sonuçlar gösterilirken Tablo 2'de çok katmanlı algılayıcı algoritması ile elde edilen deneysel sonuçlar gösterilmiştir. Her iki tabloda da doğruluk oranı ve F1-skoru bakımından karşılaştırılmalı analizler sunulmaktadır.

Makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde; NB algoritması %99.20 doğruluk oranı ve %93.90 F1-skoru elde etmiştir. DVM algoritması %99.10 doğruluk oranı ve %95.20 F1-skoru elde etmiştir. KNN algoritması %98.80 doğruluk oranı ve %90.90 F1-skoru elde etmiştir. Karar ağaçları algoritması %99.30 doğruluk oranı ve %95.10 F1-skoru elde etmiştir. LR algoritması %99.40 doğruluk oranı ve %95.50 F1-skoru elde etmiştir. Rastgele orman algoritması %98.90 doğruluk oranı ve %94.90 F1-skoru elde etmiştir. GBM algoritması %98.80 doğruluk oranı ve %95.40 F1-skoru elde etmiştir. XGBoost algoritması %99.30 doğruluk oranı ve %95.00 F1-skoru elde etmiştir. LightGBM algoritması %99.20 doğruluk oranı ve %95.30 F1-skoru elde etmiştir. CatBoost algoritması %99.10 doğruluk oranı ve %95.10 F1-skoru elde etmiştir. Sonuç olarak makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar içerisinde en iyi sınıflandırma performansını LR algoritması elde etmiştir. Özellikle yükseltme algoritmalarına (GBM, XGBoost, LightGBM ve CatBoost) ait parametlerin değiştirilmesi ile başarı oranında ciddi değişimler olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak KNN algoritmasının doğruluk oranı, komşu sayısı parametresine göre değişkenlik göstermektedir. Sonuç olarak bu algoritmalar ile daha iyi başarı oranlarının alınması mümkündür.

ÇKA mimarisi 16, 32, 64, 128 ve 256 olmak üzere farklı küme boyutlarında 100 epok boyunca eğitilmiş olup elde edilen sonuçlar incelendiğinde; ÇKA mimarisinde küme boyutu 16, 32, 64, 128 ve 256 kullanıldığında elde edilen doğruluk oranları sırası ile %99.20, %99.70, %99.60, %99.60 ve %99.50 iken F1-skorları

sırası ile %94.90, %97.70, %96.90, %96.80 ve %96.20'dir. Küme boyutu 16'dan 32'ye çıkarıldığında doğruluk oranının arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak farklı küme boyutları ile eğitilen ÇKA algoritmaları içerisinde en iyi sınıflandırma performansı küme boyutu 32 iken %99.70 doğruluk oranı ve %97.70 F1-skoru ile elde etmiştir.

Tablo 1. Makine Öğrenmesi Tabanlı Algoritmalar için Deneysel Sonuçlar

Kullanılan Sınıflandırıcı Algoritmalar	Performans Değerlendirme Metrikleri	
	Doğruluk oranı	F1-skoru
NB	0.992	0.939
DVM	0.991	0.952
KNN	0.988	0.909
Karar Ağaçları	0.993	0.951
LR	0.994	0.955
Rastgele Orman	0.989	0.949
GBM	0.988	0.954
XGBoost	0.993	0.950
LightGBM	0.992	0.953
CatBoost	0.991	0.951

Tablo 2. Çok Katmanlı Algılayıcı Algoritması için Deneysel Sonuçlar

Küme Boyutu (Batch Size)	Performans Değerlendirme Metrikleri	
	Doğruluk oranı	F1-skoru
16	0.992	0.949
32	0.997	0.977
64	0.996	0.969
128	0.996	0.968
256	0.995	0.962

5. Tartışma

Bu çalışma kapsamında, kişisel bilgiler ve günlük aktiviteler gibi tetikleyicilerin migren atağı üzerindeki etkilerinin makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ile analizi yapılmıştır. Bu kapsamda; stres, uyku durumu, egzersiz yapma durumu, yorgunluk, hormonal değişiklikler, duygusal değişiklikler, hava değişiklikleri, güneş ışığı, gürültü, aydınlatma durumu, kokular, alkol tüketimi, beslenme durumu, kafein tüketimi, sigara tüketimi, tüketilen besinin türü, seyahat vb. gibi çeşitli 22 adet tetikleyicinin yer aldığı bir veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti ile birlikte kullanılan sınıflandırıcı algoritmalar ise NB, DVM, KNN, karar ağaçları, LR, rastgele orman, GBM, XGBoost, LightGBM, CatBoost, ÇKA şeklindedir. Tüm bu sınıflandırıcı algoritmalar içerisinde en iyi sınıflandırma performansını, 32 küme boyutu ile 100 epok boyunca eğitilen ÇKA algoritması %99.70 doğruluk oranı ve %97.70 F1-skoru ile elde etmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, yüksek bir kestirimci performansa sahip olan ve migren atağının tahminlenmesini sağlayan bir karar destek sistemi önerilmiştir. Yapılması planlanan gelecek çalışmalar arasında, daha fazla tetikleyiciyi içeren bir veri setinin kullanılması ve kullanılan sınıflandırıcı algoritma sayısının artırılması yer almaktadır.

6. Teşekkür

Park JW, Chu MK, Kim JM, Park SG ve Cho SJ'ye yapmış oldukları anket çalışması sonuçlarını halka açık olarak paylaştıklarından dolayı bilime yapmış oldukları katkı için teşekkür ederiz.

Referanslar

- Migraineresearchfoundation.org. (2015). Migraine Research Foundation -- About Migraine. Retrieved February 27, 2021, from MRF web site website: <https://migraineresearchfoundation.org/about-migraine/migraine-facts/>
- Mayo Clinic. (2020). Trichinosis - Symptoms and causes - Mayo Clinic. Retrieved February 27, 2021, from mayoclinic.org website: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/migraine-headache/symptoms-causes/syc-20360201>
- Berengueres, J., & Cadiou, F. (2016). Migraine factors as reported by smartphone users. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2016-Octob, 271–274. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7590692>
- Liu, C., Holroyd, K. A., Zhu, Q., Shen, K., & Zhou, W. (2010). Design and implementation of a behavioral migraine management iPhone app for adolescents with migraine. 2010 IEEE International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks", WoWMoM 2010 - Digital Proceedings. <https://doi.org/10.1109/WOWMOM.2010.5534985>
- Garcia-Chimeno, Y., Garcia-Zapirain, B., Gomez-Beldarrain, M., Fernandez-Ruanova, B., & Garcia-Monco, J. C. (2017). Automatic migraine classification via feature selection committee and machine learning techniques over imaging and questionnaire data. BMC Medical Informatics and Decision Making, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12911-017-0434-4>
- Park, J. W., Chu, M. K., Kim, J. M., Park, S. G., & Cho, S. J. (2016). Analysis of trigger factors in episodic migraineurs using a smartphone headache diary applications. PLoS ONE, 11(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149577>
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). Data Mining: Concepts and Techniques. In Data Mining: Concepts and Techniques. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61819-5>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-Vector Networks. Machine Learning, 20(3), 273–297. <https://doi.org/10.1023/A:1022627411411>
- Safavian, S. R., & Landgrebe, D. (1991). A Survey of Decision Tree Classifier Methodology. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 21(3), 660–674. <https://doi.org/10.1109/21.97458>
- Ruppert, D. (2004). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Journal of the American Statistical Association, 99(466), 567–567. <https://doi.org/10.1198/jasa.2004.s339>
- Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Mayr, A., Binder, H., Gefeller, O., & Schmid, M. (2014). The evolution of boosting algorithms: From machine learning to statistical modelling. Methods of Information in Medicine, 53(6), 419–427. <https://doi.org/10.3414/ME13-01-0122>



Assessment of Airborne Bacteria and Fungi in Different Home Environments

Seda Naz Sarıca^{1*}, Ayşe Bodur², Özlem Özden Üzmez³, Semra Malkoç⁴

^{1*} Eskişehir Technical University, Graduate School of Science, Department of Environmental Engineering, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5160-6809), sedanazsarica@gmail.com

² Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6781-8363), aysebdr5@gmail.com

³ Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4310-788X), oozden@eskisehir.edu.tr

⁴ Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-8092-411X), satik@eskisehir.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014717)

ATIF/REFERENCE: Sarıca, S. N., Bodur, A., Özden Üzmez, Ö., Malkoç, S. (2021). Assessment of Airborne Bacteria and Fungi in Different Home Environments. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1237-1245.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the concentrations of bacteria and fungi in different indoor environments (living area, bedroom, kitchen, bathroom, hallway) of three selected homes in Eskişehir, Turkey. In each home, one-hour measurements were performed in both midday and evening hours of a day. Measurement studies were carried out by passive method and were repeated in three seasons as winter, spring and summer in the year of 2021. Indoor/Outdoor ratios (I/O) for bacteria and fungi were calculated by using simultaneous indoor and outdoor measurement results to evaluate the effect of outdoor air on indoor air. The concentrations of bacteria and fungi aerosols in the various indoor environments of three homes ranged between 1.00 – 1889.37 CFU/m³. In general, the results were between “low” and “high” pollution degrees when compared with European Commission standards. The highest I/O ratio for bacteria was found in the bathroom of Home 3 in the summer-evening measurement period while the highest I/O fungi ratio was obtained in the hallway of Home 1 in the winter-evening period. When the relationship between bacteria and fungi concentrations measured in different seasons was investigated, weak relationship was observed in all seasons except winter season at Home 1 and spring season at Home 2. Both seasonal variations and characteristics of the home environments were observed to have an effect on the indoor bacterial and fungal concentrations.

Keywords: Bacteria, Fungi, Home Environment, Indoor Air Quality, Microbiological Assessment.

Farklı Ev Ortamlarında Havadaki Bakteri ve Mantarların Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışmanın amacı, Türkiye Eskişehir’de seçilen üç evin farklı iç ortamlarındaki (yaşam alanı, yatak odası, mutfak, banyo, koridor) bakteri ve mantar konsantrasyonlarını değerlendirmektir. Her evde, günün hem öğle hem de akşam saatlerinde birer saatlik ölçümler yapılmıştır. Ölçüm çalışmaları pasif yöntemle yapılmış ve 2021 yılında kış, ilkbahar ve yaz olmak üzere üç mevsimde tekrarlanmıştır. Dış ortam havasının iç ortam havası üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere, eş zamanlı gerçekleştirilen iç ve dış ortam ölçüm sonuçları kullanılarak bakteri ve mantar için İç/Dış ortam oranları (İ/D) hesaplanmıştır. Üç evin çeşitli iç ortamlarındaki bakteri ve mantar aerosollerinin konsantrasyonları 1,00 – 1889,37 CFU/m³ arasında değişmektedir. Genel olarak, elde edilen sonuçlar Avrupa Komisyonu standartlarıyla karşılaştırıldığında “düşük” ve “yüksek” kirlilik seviyeleri arasında yer almaktadır. Bakteriler için en yüksek İ/D oranı yaz akşamı ölçüm periyodunda Ev 3’ün banyosunda, en yüksek İ/D mantar oranı ise kış akşamı periyodunda Ev 1’in koridorunda elde edilmiştir. Farklı mevsimlerde ölçülen bakteri ve mantar konsantrasyonları arasındaki ilişki incelendiğinde, Ev 1’de kış mevsimi ve Ev 2’de ilkbahar mevsimi hariç tüm mevsimlerde zayıf bir ilişki gözlenmiştir. Hem mevsimsel değişimlerin, hem de ev ortamlarının özelliklerinin iç mekan bakteri ve mantar konsantrasyonları üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakteri, Mantar, Ev Ortamı, İç Ortam Hava Kalitesi, Mikrobiyal Değerlendirme.

* Corresponding Author: sedanazsarica@gmail.com

1. Introduction

Indoor air quality is a significant concern due to the amount of time spent indoors. Some studies showed that people living in urban environments spend an average of 87% of their time indoors (Diffey, 2011; Klepeis et al., 2001; WHO, 2009). World Health Organization (WHO) states that indoor air quality becomes significantly more important as the time people spend in buildings increases. Many problems related to indoor air quality are accepted as important risk factors for human health in developed countries as well as in developing countries. Changes in indoor air quality in residences, nursing homes, hospitals, schools and other private settings affect population groups that are particularly vulnerable due to their health status or age (WHO, 2008). It is estimated that the time spent indoors will be more and more, and therefore diseases will increase. Women who spend most of the day by breathing the fuels used for heating, cooking in stoves with insufficient ventilation, and also babies and children are more exposed to the negative effects of indoor air pollution (Demirel et al., 2014). Some precautions such as good ventilation of the indoor environments (for example; kitchens and bathrooms), ventilation of fabrics and clothing, frequent cleaning of water in air conditioners and refrigerators, keeping carpets clean and dry, frequent dusting of furniture and walls should be taken to reduce indoor air problems (Aghlara, 2017; Gönüllü et al., 2002).

Bioaerosols, which are among the important air pollutants, are generally defined as microbial particulate matter, aerosols of plant or animal origin. Pathogenic and non-pathogenic live or dead bacteria, fungi, viruses are included in this class. They also produce allergens, irritants and harmful chemicals such as endotoxin and mycotoxin (Nazaroff, 2016). The share of bioaerosols in indoor air pollution is 5-34% (Shiaka & Yakubu, 2013). According to the Environmental Protection Agency (EPA) data, it has been documented that the pollutants that people are exposed to indoors are 2-5 times and sometimes 100 times higher than the pollutants they are exposed to outdoors (Agle & Galbraith, 1991). Airborne aerosols are one of the subjects that have been studied extensively in recent years due to the health problems they cause (Demirel et al., 2014; Fabian et al., 2005; Lee et al., 2012; Stetzenbach, 1998). Microbes present in high amounts in the air cause asthma, allergic rhinitis, hypersensitive pneumonia, sick building syndrome, infection and toxic effects (Agle & Galbraith, 1991; Stetzenbach, 1998). In non-industrial indoor environments, the most important source of airborne bacteria is human activities (Fabian et al., 2005; Lee et al., 2012). The temperature and relative humidity of the air is also effective on the growth of airborne bacteria (Ren et al., 2001; Siersted & Gravesen, 1993).

Many scientists investigating indoor air pollution have conducted studies in various micro-environments such as residence, entertainment centre, pet shop, shopping centre, primary school and kindergarten (Alwakeel, 2008; Fabian et al., 2005; Hu et al., 2014; Jones & Cookson, 1983; Lee et al., 2002; Menteşe et al., 2013; Yassin & Almouqatea, 2010).

In this study, three homes having different outdoor locations and indoor characteristics were selected in Eskişehir, Turkey. Indoor bacteria and fungi measurement studies were performed in five various microenvironments such as hallway, living room, bedroom, kitchen and bathroom in each home. In addition to indoor measurement studies, outdoor measurements were also

carried out simultaneously to evaluate the effect of outdoor air on indoor air and to determine indoor/outdoor (I/O) ratios for bacteria and fungi. These ratios were calculated for each indoor environment. Measurement studies were repeated in three seasons as winter, spring and summer.

2. Material and Method

2.1. Characteristics of the Selected Homes

In this study, indoor and outdoor bacteria and fungi concentrations were measured in three selected homes in Eskişehir, Turkey. Some parameters such as the number of people living and working at homes, the size and locations of the homes, the number of the rooms were considered while choosing homes. Hourly measurements were carried out in the living area, bedroom, kitchen, bathroom and hallway at each home. The Google Earth view of the homes included in the study is shown in Figure 1.



Figure 1. The homes included in the study: (a) Google Earth image showing three selected homes. (b) The location of the first home (Home 1) in Bahçelievler neighborhood. (c) The location of the second home (Home 2) in Aşağı Söğütönü neighborhood. (d) The location of the third home (Home 3) in Akarbaşı neighborhood.

Home 1 is located in the city center and urban residential area. It is directly affected by the traffic and population density and also 50 m away from Eskişehir (E90-D200) belt highway. This home is located on the 4th floor of a 4-storey apartment building. The number of the people living in this home is three and two of them are actively going to work. It has an average area of 85 m² with 3 rooms and natural ventilation (window) and aspirator are used as ventilation system. Home 2 is 10 km from the city center and located away from traffic and population density (suburban). This home is located on the 1st floor of a 4-storey apartment building. The number of the people living in this home is four and one is actively working and one is a student (due to the pandemic, she continues distance education from home). The home has an average area of 90 m² and has 3 rooms. Natural ventilation (window) and aspirator are used as ventilation system. Home 3 is located in an urban residential area in the city. This location has moderate traffic and population density. It is located on the 2nd floor of a 9-storey apartment building and within walking distance of Eskişehir Göztepe Tram Station and 3 km from the city center.

The number of the people living in this home is three. Since one person does not work actively and the remaining two people are students, they spend their whole day at home. This home has 4 rooms and it has an average area of 100 m². Natural ventilation

(window) and aspirator are used for ventilation demand. Specific characteristics of each home are given in Table 1. Also, the floor plans and measurement points of the selected homes are shown in Figure 2.

Table 1. Specific characteristics of the selected homes

Home	Area of the Home and Floor Location	Ventilation Type	Measurement Points	Location	Number of People Living in the Home
Home 1	85 m ² . On the 4 th floor of a 4-storey building	Aspirator and natural ventilation	Hallway, living room, bedroom, kitchen, bathroom and outdoor	In an urban residential area. 50 m away from Eskişehir (E90-D200) belt highway. High population and traffic density	3 people live in this home. Two of them are actively going to work
Home 2	90 m ² . On the 1 st floor of a 4-storey building	Aspirator and natural ventilation	Hallway, living room, bedroom, kitchen, bathroom and outdoor	In a suburban area. 10 km from the city center. Low population and traffic density	4 people live in this home. One of them is actively working and one of them is a student
Home 3	100 m ² . On the 2 nd floor of a 9-storey building	Aspirator and natural ventilation	Hallway, living room, bedroom, kitchen, bathroom and outdoor	In urban residential area. 3 km from the city center. Moderate traffic and population density	3 people live in this home. Two of them are student

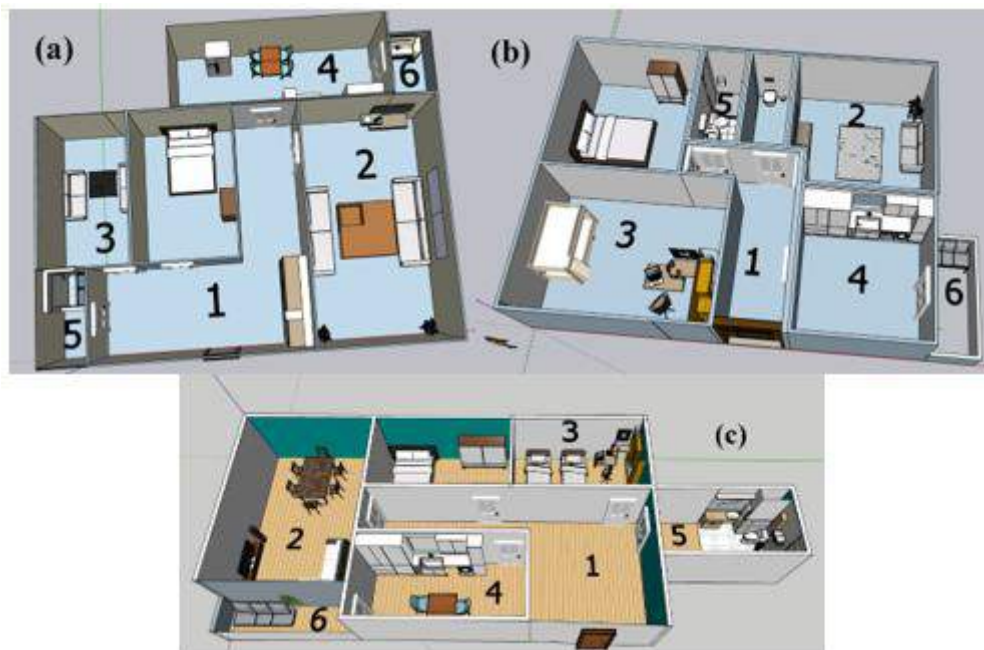


Figure 2. Floor plan and indoor - outdoor measurement points in a) Home 1, b) Home 2, c) Home 3.
*1: Hallway, 2: Living Room, 3: Bedroom, 4: Kitchen, 5: Bathroom, 6: Outdoor

2.2. Measurement Program and Method

Microbiological samples were collected for one hour by passive sampling method (Fig. 3). Measurements were performed in the indoor and outdoor environments of three different homes selected in Eskişehir, Turkey (Fig. 3). There was a total of 216 microbiological measurements taken. There were 108 bacteria measurements and 108 fungi measurements. Two samples were taken from each room of the homes. Measurement studies were repeated in three seasons as winter, spring and summer in the year of 2021.

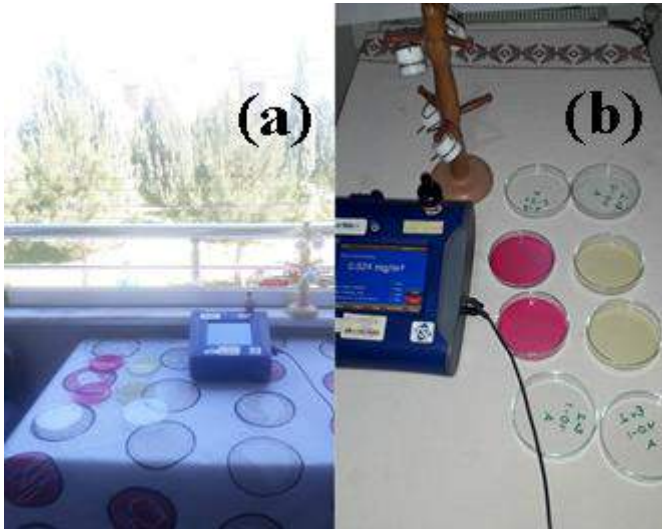


Figure 3. Microbiological measurement studies
(a) Home 2 – outdoor, b) Home 2 – indoor

Trypticase Soy Agar was used for total bacteria and chloramphenicol added Sabouraud Dextrose Agar (SDA) was used for total fungi. The growth media were exposed to indoor air and then transferred to the laboratory under suitable conditions and incubated at 37 °C for 24 hours for bacteria and at 28 °C for 7 days for fungi. Visual counting was performed after incubation and colony forming units per cubic meter (CFU/m³) were calculated by considering the equation described below (Fekadu & Getachewu, 2015):

$$N=5a \times 104 (bt)^{-1}$$

where N is microbial CFU/m³ of indoor air, a is number of colonies per petri dish, b is dish surface area (cm²) and t is exposure time (minutes).

3. Results and Discussion

In Table 2 and 3, some statistical values of the measurement results are given. When the midday bacterial results of Home 1 were compared seasonally, the highest concentration was measured in summer (991.38 CFU/m³ in hallway). It was found that the highest bacteria concentration measured in the evening period of Home 1 was obtained in winter (1889.37 CFU/m³ in

hallway). The reason for high concentrations for both seasons is thought as the active use of the hallway for home entry and exit during measurement hours.

According to results of Home 2, the highest bacterial concentration that was found in winter-midday measurement period was 603.45 CFU/m³ in bedroom. The highest bacterial concentration of the evening period was 610.63 CFU/m³ in the kitchen.

The highest bacteria concentration obtained in the summer (1077.59 CFU/m³ in bedroom) at Home 3 was measured in the midday period. The maximum concentration of winter season (1379.31 CFU/m³) was measured in the evening period in the living room.

Table 3 shows the seasonal fungi concentrations for three selected homes. The highest concentration (560.34 CFU/m³ in living room) was measured in the midday measurement of spring season at Home 1. In the evening measurements, the highest concentration (452.59 CFU/m³) was measured in the living room similar to the spring season.

Table 4 shows the microbiological air quality standards for indoor environments and also evaluation of the results obtained in this study based on the given standard values. Looking at the results for bacteria in Table 4, “intermediate” and “high” pollution degree levels were obtained for all measurement periods for each home. When the fungi results were examined, lower pollution degrees were obtained (Table 4).

Indoor/Outdoor concentration ratios for bacteria and fungi (I/O) were also calculated for each microenvironment of each home using simultaneous indoor and outdoor measurement results (Table 5). When the I/O ratios for bacteria concentrations were evaluated for Home 1, > 1 ratios were obtained in the winter-evening measurement (in hallway, bedroom and kitchen), spring-evening measurement (hallway), summer-midday (hallway) and evening (bathroom) measurements.

Bacteria I/O ratios obtained at Home 2 were > 1 in the living room and bedroom in the winter-midday measurement, in the hallway and kitchen in the spring-midday and also in the hallway, living room and kitchen in the spring-evening period.

I/O ratios obtained for Home 3 were > 1 in the hallway, living room, bedroom and bathroom in the winter-evening period, spring-midday (kitchen and bathroom) and evening (hallway, bedroom and bathroom) periods and also summer-midday (bedroom) and evening (all indoor microenvironments) periods.

When the fungi I/O ratios were examined, > 1 ratios were found for only winter-evening period at Home 1 (hallway, living room and bedroom). All I/O ratios were < 1 for Home 2 for all measurement periods. In Home 3, > 1 I/O ratios were obtained in the summer-evening measurement period in hallway.

Table 2. Number of bacteria colony counts (CFU) per m³ air obtained at each home for different seasons. The values are given as min, max, mean and standard deviation (SD)

Bacteria Measurement Results (CFU/m ³)	Winter		Spring		Summer	
	Midday	Evening	Midday	Evening	Midday	Evening
Home 1						
Minimum	215.52	287.36	301.72	660.92	330.46	287.36
Maximum	502.87	1889.37	711.21	1379.31	991.38	1314.66
Mean	362.07	899.43	522.99	992.82	563.22	603.45
Std. Deviation	129.57	729.71	161.23	258.14	264.47	417.63
Home 2						
Minimum	57.47	294.54	21.55	28.74	43.10	100.57
Maximum	603.45	610.63	215.52	280.17	373.56	510.06
Mean	281.61	412.36	100.57	123.56	191.09	320.40
Std. Deviation	234.74	135.41	90.01	98.29	119.95	184.25
Home 3						
Minimum	114.94	150.86	107.76	107.76	215.52	129.31
Maximum	186.78	1379.31	854.89	416.67	1077.59	783.05
Mean	133.62	719.83	410.92	274.43	537.36	380.75
Std. Deviation	30.31	479.91	294.51	147.87	360.61	259.77

Table 3. Number of fungi colony counts (CFU) per m³ air obtained at each home for different seasons. The values are given as min, max, mean and standard deviation (SD)

Fungi Measurement Results (CFU/m ³)	Winter		Spring		Summer	
	Midday	Evening	Midday	Evening	Midday	Evening
Home 1						
Minimum	0.00	35.92	93.39	165.23	179.60	57.47
Maximum	64.66	143.68	560.34	452.59	301.72	237.07
Mean	34.48	77.59	297.41	298.85	225.57	160.92
Std. Deviation	24.57	43.52	178.05	111.71	48.88	68.83
Home 2						
Minimum	7.18	7.18	21.55	57.47	43.10	100.57
Maximum	100.57	165.23	1120.69	768.68	143.68	323.28
Mean	47.42	53.16	258.62	310.34	80.46	179.60
Std. Deviation	40.83	65.37	482.58	294.82	38.82	96.11
Home 3						
Minimum	0.00	14.36	21.55	35.92	57.47	43.10
Maximum	79.03	71.84	71.84	237.07	79.02	280.17
Mean	22.99	28.73	48.85	93.39	70.40	143.68
Std. Deviation	32.29	24.36	18.60	83.31	11.80	100.96

Table 4. An assessment of air quality in the selected different home indoor environments (Fekadu & Getachewu, 2015)

Group of microbes	Range of values (CFU/m ³)	Pollution degree	Winter						Spring						Summer					
			Home 1		Home 2		Home 3		Home 1		Home 2		Home 3		Home 1		Home 2		Home 3	
			M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E
Bacteria	<50	Very Low																		
	50-100	Low																		
	100-500	Intermediate	+		+	+	+				+	+	+	+			+	+		+
	500-2000	High		+				+	+	+					+	+			+	
	>2000	Very High																		

Group of microbes	Range of values (CFU/m ³)	Pollution degree	Winter						Spring						Summer					
			Home 1		Home 2		Home 3		Home 1		Home 2		Home 3		Home 1		Home 2		Home 3	
			M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E
Fungi	<25	Very Low																		
	25-100	Low	+	+	+	+	+	+					+	+			+		+	
	100-500	Intermediate							+	+	+	+			+	+		+		+
	500-2000	High																		
	>2000	Very High																		

*M: Midday, E: Evening

Table 5. Indoor/Outdoor (I/O) ratios for the measured bacteria and fungi concentrations

I/O Ratios of Bacteria Results	Winter		Spring		Summer	
	Midday	Evening	Midday	Evening	Midday	Evening
Home 1						
Hallway	0.96	3.93	0.52	1.22	1.06	0.38
Living Room	0.99	0.75	0.24	0.92	0.42	0.26
Bedroom	0.42	3.04	0.42	0.59	0.68	0.33
Kitchen	0.52	1.03	0.36	0.82	0.35	0.57
Bathroom	0.66	0.60	0.58	0.85	0.50	1.19
Home 2						
Hallway	0.76	0.55	1.47	1.62	0.75	0.83
Living Room	1.12	0.46	0.41	1.00	0.39	0.17
Bedroom	1.65	0.45	0.18	0.69	0.41	0.31
Kitchen	0.16	0.92	1.76	3.00	0.09	0.50
Bathroom	0.16	0.74	0.29	0.31	0.29	0.85
Home 3						
Hallway	0.16	1.24	0.29	2.18	0.34	5.42
Living Room	0.11	3.49	0.67	0.77	0.24	2.25
Bedroom	0.10	2.56	0.82	2.41	1.18	3.83
Kitchen	0.10	0.38	1.49	0.68	0.39	1.50
Bathroom	0.10	1.44	2.33	2.64	0.80	9.08
Home 1						
Home 2						
Home 3						
I/O Ratios of Fungi Results	Winter		Spring		Summer	
	Midday	Evening	Midday	Evening	Midday	Evening
Home 1						
Hallway	0.06	2.22	0.62	0.32	0.38	0.52
Living Room	0.19	1.44	0.33	0.21	0.40	0.33
Bedroom	0.13	1.11	0.95	0.47	0.47	0.13
Kitchen	0.00	0.56	0.46	0.58	0.35	0.33
Bathroom	0.13	0.67	0.16	0.33	0.58	0.45
Home 2						
Hallway	0.04	0.21	0.06	0.38	0.61	0.13
Living Room	0.20	0.04	0.02	0.23	0.36	0.18
Bedroom	0.09	0.04	0.03	0.05	0.30	0.29
Kitchen	0.25	0.96	0.80	0.70	0.24	0.41
Bathroom	0.02	0.29	0.02	0.06	0.18	0.13
Home 3						
Hallway	0.04	0.20	0.04	0.07	0.14	1.26
Living Room	0.12	0.67	0.07	0.05	0.20	0.19
Bedroom	0.04	0.20	0.12	0.31	0.20	0.65
Kitchen	0.44	0.13	0.08	0.12	0.14	0.90
Bathroom	0.00	0.13	0.09	0.06	0.20	0.23

The scatterplots of bacteria versus fungi concentrations for all homes show positive linear relationships for winter season (Fig. 4).

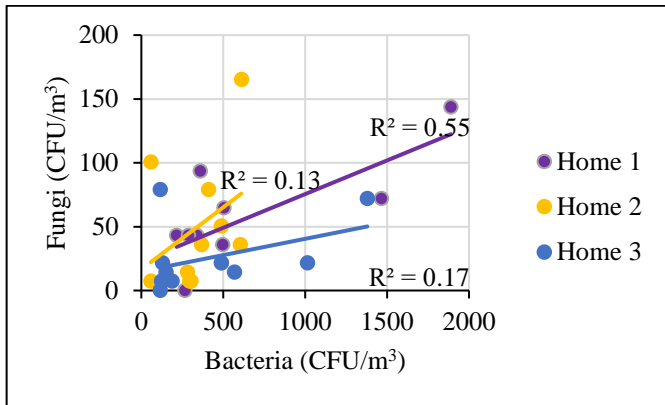


Figure 4. Correlation between the fungi and bacteria concentrations of the selected homes in the winter season

The scatterplots of bacteria versus fungi concentrations for spring season are given in Fig. 5. The highest relationship was observed for Home 2 ($R^2=0.66$).

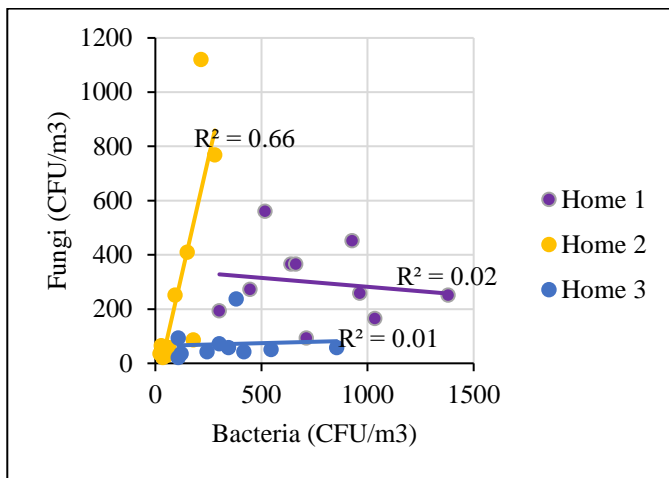


Figure 5. Correlation between the fungi and bacteria concentrations of the selected homes in the spring season

Weak relationships were found for all homes in the summer season (Fig. 6). In general, weak bacteria-fungi relationships were observed in all seasons except for winter season at Home 1 and spring season at Home 2.

The presence of nutrients (dirt, wood, paper, paint, etc.), the amount of oxygen and the amount of light have an impact on the growth of microbiological pollutants in the indoor environments. Fungi and bacteria are the most often found microorganisms indoors. Toxic substances like mycotoxins or volatile organic compounds may be produced by fungus and can become airborne with the spores they produce (Menteşe & Güllü, 2009).

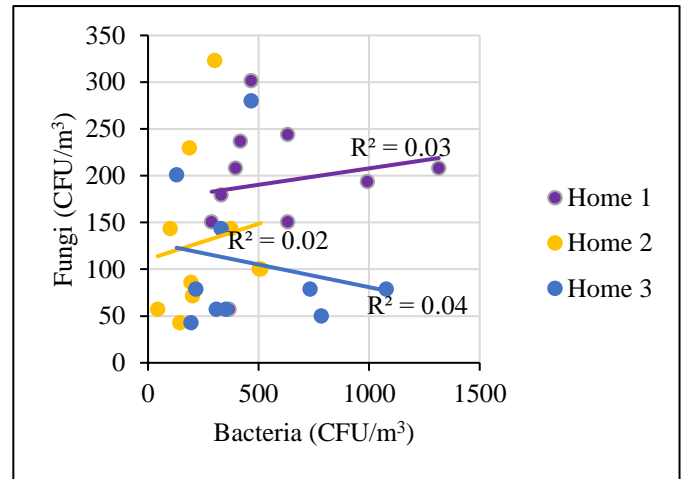


Figure 6. Correlation between the fungi and bacteria concentrations of the selected homes in the summer season

In Table 4, the measurement results of this study were evaluated by using European Commission's 1993 sanitary standards for non-industrial facilities and households (Fekadu & Getachewu, 2015). Based on the given categorization, “very high” pollution degree was not achieved in any measurement period. In general, the results were between “low” and “high” pollution degrees (Table 4).

The highest I/O ratio for bacteria was found in the bathroom of Home 3 in the summer-evening measurement period while the highest I/O fungi ratio was obtained in the hallway of Home 1 in the winter-evening period (Table 5).

4. Conclusions and Recommendations

In consequence of the pandemic, people spend most of their time at homes. For this reason, many people are more exposed to air pollution indoors than outdoors, and accordingly they are more affected.

In this study, microbiological measurements were performed in three different homes selected in Eskişehir, Turkey. In general, seasonal changes and characteristics of the home environments were observed to have an effect on the measured bacterial and fungal concentrations. Although the measured concentrations are not "very high" when compared with European Commission standards, some precautions such as much more ventilation of the rooms, ventilation of clothes and textiles outside, keeping carpets clean and dry, keeping the humidity and temperature of the environments at optimum values should be taken at homes.

References

Aghlara, E. (2017). “Levels of bioaerosols in indoor and outdoor environments and resource detection,” Ph.D. thesis. Environmental Engineering. Hacettepe Univ. Ankara.
 Agle, E., & Galbraith, S. (1991). *Building air quality: A guide for building owners and facility managers* (Issues 91–114). US Government Printing Office.
 Alwakeel, S. S. (2008). Indoor fungal and bacterial contaminations on household environment in riyadh, Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 15(1), 113–119.
 Demirel, G., Özden, Ö., Döğeroğlu, T., & Gaga, E. O. (2014).

- Personal exposure of primary school children to BTEX, NO₂ and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 473, 537–548.
- Diffey, B. L. (2011). An overview analysis of the time people spend outdoors. *British Journal of Dermatology*, 164(4), 848–854.
- Fabian, M. P., Miller, S. L., Reponen, T., & Hernandez, M. T. (2005). Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessments of flood reclamation. *Journal of Aerosol Science*, 36(5–6), 763–783.
- Fekadu, S., & Getachewu, B. (2015). Microbiological assessment of indoor air of Teaching hospital wards: a case of Jimma University specialized hospital. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 25(2), 117–122.
- Gönüllü, M. T., Bayhan, H., Avşar, Y., & Arslankaya, E. (2002). YTÜ Şevket Sabancı Kütüphane Binası iç ortam havasındaki partiküllerin incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi*.
- Hu, D., Wang-Li, L., Simmons III, O. D., Classen, J. J., Osborne, J. A., & Byfield, G. E. (2014). Bioaerosol Concentrations and Emissions from Tunnel-Ventilated High-Rise Layer Houses in North Carolina. *Transactions of the ASABE*, 57(3), 915–925.
- Jones, B. L., & Cookson, J. T. (1983). Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area. *Applied and Environmental Microbiology*, 45(3), 919–934.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V, Hern, S. C., & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3), 231–252.
- Lee, J. H., Ahn, K. H., & Yu, I. J. (2012). Outbreak of bioaerosols with continuous use of humidifier in apartment room. *Toxicological Research*, 28(2), 103–106.
- Lee, S.-C., Guo, H., Li, W.-M., & Chan, L.-Y. (2002). Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 36(12), 1929–1940.
- Menteşe, S., & Güllü, G. (Mayıs 2009). Organik bileşiklerin farklı iç ortamlardaki seviyeleri. *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON)*. İzmir, Turkey, pp.673-679.
- Menteşe, S., Tuğba, B., Mutlu, M. B., Özdemirpençe, S. S., Nişancı, S. Y., Palaz, E., Çetin, B., Taşdibi, D., Selçuk, B., & Karagöz, S. (Nisan 2013). Havadan Kaynaklı Bakteri Seviyesinin Çanakkale'deki Ev, Yurt Ve Okullarda Mekansal Değişimi. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir, Turkey, pp.1865-1872.
- Nazaroff, W. W. (2016). Indoor bioaerosol dynamics. *Indoor Air*, 26(1), 61–78.
- WHO (2008). *Development of air quality guidelines for indoor air quality: dampness and mould: report on a working group meeting, Bonn, Germany 17-18 October 2007*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO (2009). Children's Health and the Environment. WHO Training Package for the Health Sector-World Health Organization.
- Ren, P., Jankun, T. M., Belanger, K., Bracken, M. B., & Leaderer, B. P. (2001). The relation between fungal propagules in indoor air and home characteristics. *Allergy*, 56(5), 419–424.
- Shiaka, G. P., & Yakubu, S. E. (2013). Comparative analysis of airborne microbial concentrations in the indoor environment of two selected clinical laboratories. *IOSR J Pharm Biol Sci (IOSR-JPBS)*, 8(4), 13–19.
- Siersted, H. C., & Gravesen, S. (1993). Extrinsic allergic alveolitis after exposure to the yeast *Rhodotorula rubra*. *Allergy*, 48(4), 298–299.
- Stetzenbach, L. D. (1998). Microorganisms and indoor air quality. *Clinical Microbiology Newsletter*, 20(19), 157–161.
- Yassin, M. F., & Almouqatea, S. (2010). Assessment of airborne bacteria and fungi in an indoor and outdoor environment. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(3), 535–544.



Mobil Kontrol- Görüntü Aktarımı ve Lazer Savunma Gücüne Sahip Tank Robot Tasarımı

Burak Kapusız^{1*}, Yusuf Uzun²

^{1*} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1592-0240), burak_kapusuz@hotmail.com

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7061-8784), yuzun@erbakan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015692)

ATIF/REFERENCE: Kapusız, B. & Uzun, Y. (2021). Mobil Kontrol- Görüntü Aktarımı ve Lazer Savunma Gücüne Sahip Tank Robot Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1246-1253.

Öz

Robotlar günümüzde insan hayatını kolaylaştırmak ve insanların yapacakları hataları önceden tespit etmek amacı da dâhil olmak üzere birçok amaçla üretilmiştir. Bu makalede tasarlanan robotun (GÖKALP-01) kullanım amacı, Arduino kartının içinde bulunan ATmega mikroşlemci ile kartın içine atılan yazılım vasıtasıyla kameradan aldığı görüntü sinyallerini kullanarak mobil ve bilgisayar programlarına wifi sinyalleri ile canlı görüntü aktarımı yapmaktır. Savunma amaçlı robotun ön kısmında yer alan lazer kesim modülü ile nokta endeksli vuruş yaparak hedefi yok etmesi amaçlanmaktadır. Robotun (GÖKALP-01) üst yüzey kısmı, sensör ve aparat eklemeye uygun olarak tasarlanmıştır. GÖKALP-01, bomba imha robotu ile kullanıcının şüpheli bir nesneyi 600 m mesafeden inceleyebilmesini sağlamaktadır. Çelik araç platformu sayesinde ağırlık minimum seviyeye çekilerek hızlı hareket etmesini ve kayalıklı arazilerde, dik yamaçlarda, kar ve çamur gibi çevre koşullarında en zor zeminlerde rahatlıkla hareket edebilmektedir. Robotumuzun arazideki testleri yapıp yol alması arazi şartlarına uyum sağlayıp sağlayamayacağının gerekli testleri yapılmıştır. Tanka enerji verip mobil uygulamadan kontrolü kameradan görüntü aktarılıp aktarılmadığı kontrol edilmiştir ve yapılan testlerden başarı ile geçmiştir. Tankımızın (GÖKALP-01) kullanım alanı keşif, savunma sanayi, arama kurtarmadır. Üzerine GPS modülleri gibi kartlar eklenerek girdiği arazinin konumlarını ve haritasını çıkarma gibi işlemler yapılabilir. Yapmış olduğumuz testlerde tankımızın 600 m alanda iletişimin kopmadığı saptanmıştır. Tankımızın üzerinde bulunan lazer modül ile 500m mesafelerde bile hedefe vurduğu ve erittiği tespit edilmiştir. Doğa ortamında yapılan bütün arazi testlerinden başarı ile çıkan tank (GÖKALP-01), rampa ortamında rampayı alırken dişlilerin bağlı olduğu paletin ön kısmından rampayı alabilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodenetleyici, Akıllı Tank, Lazer Modül, Görüntü Aktarma, Mobil Sistemler.

Mobile Control-Tank Robot Design with Image Transmission and Laser Defense Power

Abstract

Robots have been produced for many purposes, including the purpose of making human life easier and detecting the mistakes people will make in advance. The purpose of using the robot (GÖKALP-01) designed in this article is to transfer live images to mobile and computer programs with wifi signals by using the image signals received from the camera by means of the software thrown into the card with the ATmega microprocessor inside the Arduino board. It is aimed to destroy the target by making point indexed strokes with the laser cutting module located in the front of the defensive robot. The upper surface of the robot (GÖKALP-01) is designed for adding sensors and apparatus. GÖKALP-01 enables the user to examine a suspicious object from a distance of 600 meters with the bomb disposal robot. Thanks to the steel vehicle platform, it can move quickly by minimizing the weight and can move comfortably on rocky terrains, steep slopes, and the most difficult grounds in environmental conditions such as snow and mud. Our robot has been tested in the field and the necessary tests have been made whether it can adapt to the terrain conditions or not. It was checked whether the image was transferred from the camera by energizing the tank and controlled from the mobile application and it successfully passed the tests. The usage area of our tank (GOKALP-01) is reconnaissance, defense industry, search and rescue. By adding cards such as GPS modules

* Sorumlu Yazar: burak_kapusuz@hotmail.com

on it, operations such as mapping the locations of the land it enters can be done. In the tests we have carried out, it has been determined that the communication of our tank is not broken in an area of 600 m. It has been determined that with the laser module on our tank, it hits and melts the target even at 500m distances. The tank (GOKALP-01), which successfully passed all field tests in the nature environment, was able to take the ramp from the front of the pallet to which the gears were attached while taking the ramp in the ramp environment.

Keywords: Microcontroller, Smart Tank, Laser Module, Image Transfer, Mobile Systems.

1. Giriş

Robot olarak isimlendirilen makinelerin insanların yaşamlarını kolaylaştırmada ya da sanayide insanoğlunun yapmakta zorlandığı ya da zorlanacağı işlerde tasarlanması ve aynı zamanda üretilmesi ile ilgilenen bilim dalına ise robotik denmektedir (Ozan,2020). Üretim robotları, keşif amaçlı drone robotlar, medikal robotlar ve en önemlisi de savunma sanayi robotlarıdır. Savunma sanayi robotları, ülke güvenliğinin sağlanması açısından birçok ülkenin üzerinde özenle durduğu önemli bir konudur. Isı algılama, görüntü işleme ve takip sensörleri ile otonom hareket edilebilen robotlar bu sistemlere örnektir (Tezel,2017). Geçtiğimiz on yılda, mobil robotlar askeri ve endüstriyel ortamdan çekilerek hastaneler, okullar ve sıradan evler gibi sivil ve kişisel alanlara girmektedir. Robotlar, özellikle tekrar eden görevleri yerine getirmede insanların yerini almaktadır. Robotik genel olarak, endüstriyel ve servis robotları olmak üzere iki alana ayrılabilir. Uluslararası Robotik Federasyonu hizmet robotunu, insanların refahı için faydalı olan hizmetleri gerçekleştiren, kısmen veya tamamen bağımsız olarak çalışan bir robot olarak tanımlamaktadır (Karacı ve Erdemir,2017).

Yapılacak işin farklı yerlerde gerçekleştirilmesi robotların gezgin olmasını gerektirmektedir. Bu tür görevlere yönelik olarak tasarlanmış gezgin robotlar üç kısımdan oluşur. İlk kısım hareketi sağlayan mekanik, ikinci kısım kontrol birimleri ve algılayıcılar vasıtasıyla algılanan verilerin işlenmesini sağlayan donanım, üçüncü kısım ise hareket kontrolünü ve karar almayı sağlayan yazılımdır (Özdemir ve Köse,2008). Arduino; birçok kişi tarafından yaygın olarak kullanılan bir mikro denetleyici karttır. Esnek, kullanımı kolay ve eksiksiz bir donanım ve yazılım ortamı sunar. C / C ++ temelli Arduino dili kullanılarak programlanabilmektedir. Ayrıca Arduino'nun Windows, OS X ve Linux sistemleri için entegre geliştirme ortamı (IDE) mevcuttur ve bu ortamda çok sayıda öğretici ve kapsamlı belge bulunmaktadır (Karacı ve Erdemir,2017).

.Elektronik devrelerde mikrodenetleyiciler, kontrolcü, veri akışı sağlama ve denetleme görevlerine sahip yaygın olarak kullanılan devre elemanlarıdır. Bünyelerinde zamanlayıcı, sayıcı, giriş çıkış portları, analog sayısal çevirme ünitesi, RAM bellek, ROM bellek, PWM darbe üretici, seri haberleşme birimi, ALU ve benzeri birimler bulundurlar (Bay ve Görgünoğlu,2002). Arduino, processing /Wiring dilini kullanarak çevre elemanları ile temel çıkış uygulamalarını gerçekleştiren açık kaynaklı fiziksel programlama platformudur (Güngör,2015). Arduino kart ucuzdur ve ihtiyaca uygun olarak satın alınan shield denilen çevre birimleri vasıtasıyla genişletilebilir. Arduino çok ucuz ve kolay erişilebilir bir kart olmasına karşın çok işlevseldir. (Karacı ve Erdemir,2017).

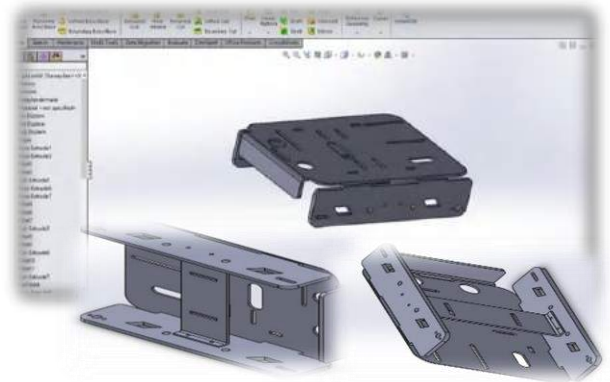
Bu makalede tasarlanan robot (GÖKALP-01), yukarıda belirtilmiş olan bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Robotun kullanım amacı, Arduino kartının içinde bulunan

ATmega mikroişlemci ile kartın içine atılan yazılım vasıtasıyla kameradan aldığı görüntü sinyallerini kullanarak mobil ve bilgisayar programlarına Wifi sinyalleri ile canlı görüntü aktarımı yapmaktır. Savunma amaçlı robotun ön kısmında yer alan lazer kesim modülü ile nokta endeksli vuruş yaparak hedefi yok etmesi amaçlanmaktadır.

Tasarlanan robotun amacı dikkate alınarak makale özelinde araştırmanın problem cümlesi, "Savunma sanayisinde kullanılmak üzere tank robot tasarımı nasıl yapılabilir?" olarak belirlenmiştir. Tank robotumuzun (GÖKALP-01) kasasının üst bölümü, sensörler ve elektronik devre elemanlarını konumlandırmak amacı ile eğimli ve montaj delikleri hazır bir şekilde elde edilmiştir. Tank robotta, 12V redüktörlü DC motor 2 adet kullanılarak Solidworks'te kasa tasarımı yapılmıştır. Paletlere, gövdeye uygun bir şekilde montaj edilebilmesi için kasa 4 kısımda birleşebilecek şekilde oluşturulmuştur, Arduino kartta, Wifi modem kart yardımı ile Android cihazlardan gönderilen sinyalleri motorlara aktararak motorların harekete geçmesi sağlanmaktadır. Dişlilerde ve rulmanlı tekerlerde oluşan DC motorların hareketi paletlere aktarılmakta ve tankımızın (GÖKALP-01) harekete geçmesi sağlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Makalenin konusunu oluşturan tank yapımı 4 aşamadan geçilerek oluşturulmuştur. Bu aşamalar, makine kısmı, elektronik montaj, Enerji kaynağının oluşturulması ve mobil uygulama tasarımıdır. İlk olarak Solidworks programı kullanılarak tank kasasının tasarımı yapılmıştır. Yapılan kasa tasarımı 4 aşamada gerçekleştirilmek amaçlı yapılmış ve çeliğe krom katılarak sacın oluşturulmuştur. Oluşturulan çelik sac kasa ağır hava şartları altında paslanmaya karşı dayanıklıdır. Şekil 1'de kasa tasarımı gösterilmiştir.



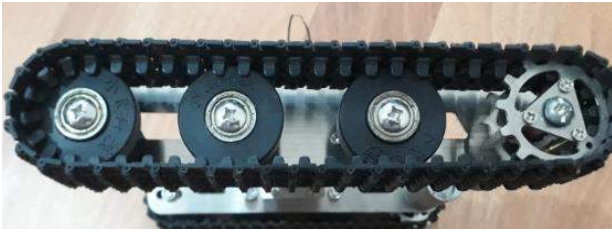
Şekil 1 Kasa Tasarımı

Bir DC motorun gerçek zamanlı hız denetimi birçok alanda istenen bir fonksiyondur. Günlük hayatta karşımıza çıktığı gibi endüstride yüksek güç gerektiren birçok alanda kullanılmaktadır (Postalcıoğlu ve Köktürk,2019). Paletleri döndürebilmek için 12V DC Redüktörlü motorlar kullanılmış, dc motorlarımızın hız ayarlamaları yazılımla sağlanmıştır mobil uygulamadan sağ ve sol motorların hız ayarı yapılabilmektedir ve kasaya montaj edebilmek için matkapla çelik sacda delikler açılmıştır. Bu şekilde

motorlar kasaya sabitlenmiştir. Kasanın üst kısmında yer alan saca elektronik devre kartlarını montaj edebilmek için CNC frezede alanlar açılmıştır. Paletler kauçuk plastik malzemeden yapılmıştır ve paletlerin yere daha iyi tutunabilmesi amaçlanmıştır.

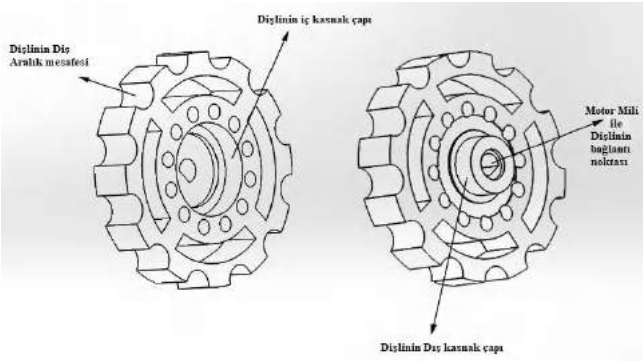


Şekil 2 12V Redüktörlü Motor Montajı



Şekil 3 Palet Tasarımı

Makine kısmına geçildiğinde ilk olarak robotun (GÖKALP-01) ana kasa hatları tasarlanmıştır. Daha sonra mekanik hareket verebilmek amacıyla çizimleri yapılmış ve montajı sağlanmıştır. Tank motorunun, motor mil ölçüsü alınıp tasarlanan dişli aralığına tam bir şekilde oturup oturmadığı test edilmiştir. Çizmiş olduğumuz CAD resimlerinin karşılıklarına oklar çıkararak belirtilen kısımlara montajı yapılacak motorların teker teker açıklamaları yapılmıştır. Montaj işlemi sırasında kısımların, motorların hangi noktalarına bağlanacağı belirtilmiştir. Teknik resim kurallarına uygun olarak çizilen parçaların renkli ve teker teker gösterimi sağlanmıştır. Belirtilen kurallara uygun montaj aşamalarını anlatılmıştır.

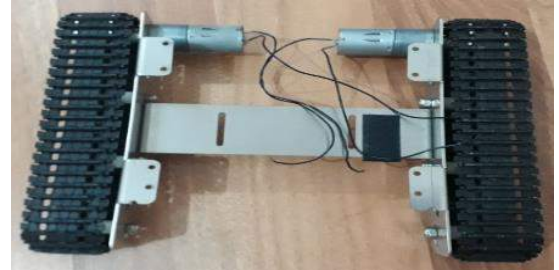


Şekil 4 Motor ve Paleti Birleştiren Dişli Tasarımı

Palet ve kasa birleşim aşamalarında tasarlanmış ve tasarıma göre üretilmiştir. DC motorların arka kısmında yer alan terminallere kablolar lehimlenmiştir. Lehimlenen kablolar ileriye aşamalarda ARDUINO kartın üstünde yer alan motor sürücü kartına bağlantıları yapılmak için bırakılmıştır. Elektronik kısma geçilmeden önce günümüzde kullanılan tanklardaki dişli problemlerine dikkat edilmelidir. Günümüzdeki tanklarda palet hareketleri birbiri içine yataklanmış birçok dişlinin birbirini döndürmesi ile sağlanmaktadır. Ana dişli motora bağlanmakta ve paletin her noktasına hareket, dişlilerin birbiri içine geçmiş hareketi sayesinde aktarılmaktadır.

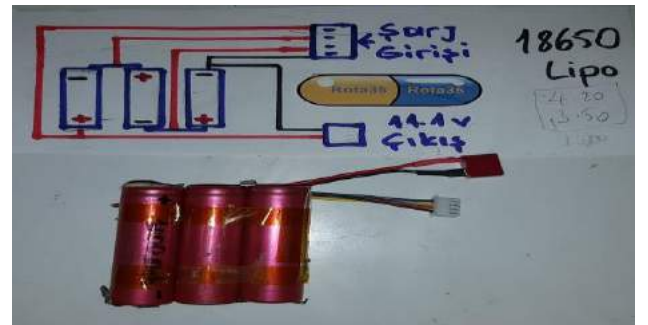
Bu yüzden de dişliler birbirlerine sürtünerek aşınmalara sebebiyet vererek ilerleyen dönemlerde paletlerin tanktan çıkmasına neden olmaktadır. Bu durumlarda tasarım yapılırken dişlilerde, basınç ve motor kuvvetlerini daha küçük veya büyük ebatlardaki dişlilere aktarılması yönündeki gayret, büyük ebatlardaki dişlilerde sorun oluşturmazken küçük ebatlardaki dişlilerde, birim alana düşen yük miktarını artırmaktadır. Bu tip dişlilere, "ağır yük dişlisi" denilmektedir. Düz ve helis tip dişlilerin küçük ebatlarındaki dişliler, günümüzde savunma sanayisinin yanı sıra otomotiv sanayisinde de çok fazla miktarda kullanılmaktadır. Ağır yük dişlisinde oluşan aşırı yükten ötürü hareketinde gürültü ve titreşim olmaktadır.

Günümüzde tankların ve savunma sanayisinde kullanılan diğer araçların hareketlerinde gürültü ve titreşim oluşmasına sebep olan dişliler çözülmesi gereken bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Tank, gemi gibi büyük kuvvetleri hareketlerinde gürültü ve titreşim sorunu özellikle askeri hareketlerde ve uygulamalarda büyük öneme neden olmaktadır. Günümüzdeki tankların dişli problemi de göz önünde bulundurularak titreşim ve gürültüyü azaltmak amaçlı tank paletlerinin hareketlerini rulmanlı tekerler kullanılarak hareket paletin diğer kısımlarına dağılmaktadır. Dişli sistem olarak motorun palete bağlandığı yer kullanılmış ve dişlinin paletin içine geçerek döndürme hareketini sağlanması istenmiştir. Tankın elektrik kısmında enerjiyi sağlayan pil tasarımında atık laptop bataryaları tercih edilmiştir. Laptopların bataryalarında bulunan LİPO (lityum-polimer) piller ile batarya tasarımı sağlanmıştır. Bunun içinde pil voltaj değerlerinin ölçümü Avometre ile yapılmıştır.



Şekil 5 Palet Tank Montajı

Telefon, tablet, bilgisayar, insansız hava aracı gibi yaşamımızın birçok alanında kullandığımız cihazlarda enerji depolamak ve bu enerjiden faydalanmak için lityum temelli (lityum-iyon, lityum-polimer ve benzeri) piller kullanılmaktadır. Bu pillerin kendi yapılarına, özelliklerine ve ihtiyaçlarına göre şarj edilerek yapılan işlemlerin belli bir standart ve uygunlukta olması gerekmektedir (Gelen ve Tüfekcioğlu,2020).



Şekil 6 Pil Montajı

Bu standartlar sağlandığı zaman pillerden alınan verim ve kullanım süreleri artmaktadır (Gelen ve Tüfekcioğlu,2020). Piller ölçüldüğünde elde edilen voltaj 3.7 V civarındadır. Bu da pillerin boş olduğunu göstermektedir. Dolu LİPO pilin 4.2 V enerjiye sahip olduğunu bilinmektedir. Tankı çalıştırmak için gerekli olan voltaj 12V civarındadır. Bunun için de bataryadan çıkarılan 3 tane pil birbirine seri olarak bağlanarak devre tasarımı tamamlanmıştır. Böylece 12V enerji kaynağını elde edilmiştir. Bu tip piller için özel şarj aletleri bulunmakla birlikte elimizde bulunan İMAX B6 şarj aleti ile piller şarja bırakılmıştır. Kullanılan atık pillerin üst kısmında + ve - kutupları gösterilmektedir. Seri bağlantı için pilden alınan + kutup diğer pilin - kutbuna bağlanmalıdır. Pilin dış kısmına ısı ile daralan PVC Shrink makaron plastik eklenmiş tanka montajı için tankın alt kasasına ve pilin üstüne cırt cırt eklenmiştir.



Şekil 7 LİPO Pil Şarj İstasyonu

Tankın (GÖKALP-01) elektrik kaynağını oluşturan LİPO pillerin nasıl yapıldığı anlatıldıktan sonra elektronik bağlantıların, kullanılacak elektronik devre elemanlarının tanıtımı ve bağlantılarının nasıl yapılacağı ele alınacaktır. Elektronik bağlantılarda Fritzing programından yararlanılmıştır. Fritzing programı aynı zamanda simülasyon yapma özelliğine de sahip olduğu için Arduino kartın içine atılan yazılımın da elektronik elemanların çalışmasının da testine imkân tanımaktadır.

Kullanılan elektronik devre elemanları, Arduino Uno, Motor Shield kart, 5500 MW Cnc Lazer modül, Wifi modem kart, 2 adet kameranın 180 derece açı ile yukarı-aşağı, sağa-sola hareket edebilmesi için servo motor, web camera ve motorların hareketini sağlamak ve elektronik devre kartlarını beslemek için 12V Lityum polimer batarya ve tankın harekete geçmesini sağlayan 12V Redüktörlü DC motorlardır. Tankın (GÖKALP-01) elektronik kısmını oluşturan bütün devre elemanları teker teker incelenmiş ve kullanmadan önce içlerine atılan driver ve yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir.

Arduinio Uno, dijital ve analog girişlere ve çıkışlara sahip bir kart olmakla beraber processing /Wiring temelli hazır kütüphanelere sahip geliştirme ortamı olan bir platformdur. Arduinio kart, yapısında bulunan Atmega328 model entegreli bir işlemciye sahiptir. Kolay bir şekilde bilgisayara USB kablosu ile bağlanarak seri haberleşme sağlayarak bilgisayar ile programlanabilmekte ve seri veri haberleşmesi sağlayabilmektedir.

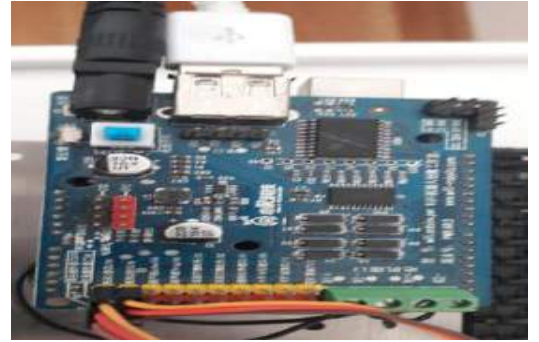
Arduinio Uno kart tasarlanan tankta (GÖKALP-01) kullanılan mikroişlemci karttır. Wifi modül kartın üstünde dönüştürücüler bulunmaktadır. Bu dönüştürücü sayesinde USB portu üzerinden sanal bir COM port oluşmakta ve modül ile doğrudan seri iletişime geçebilmektedir. Web Kamera USB portta seri porttan bağlanıp sanal comdan veri göndermesine izin verilmiştir. Firmware yükleme, komut gönderimi, hata ayıklama vesaire

ihtiyaç olan ne varsa bu tip bir dönüştürücü sayesinde kolayca yapılabilmektedir. Bu bir opsiyon olmamakla birlikte bir dönüştürücü almak zorunluluktur. Dönüştürücüye ilişkin Driver bilgisayara kurulduktan sonra Windows/Denetim Masası/Aygıt Yönetici 'sinden \$ dmesg | grep tty gibi bir komutla seri portlar listelenmekte ve ilgili dönüştürücüyle ilişkili olanın bulunması gerekmektedir.



Şekil 7 Wifi Modem Kart

Bu port ismi (örneğin, Windows için COM8) daha sonra firmware yükleme işlemi için kullanılacaktır. Bir hatırlatma yapılması gerekirse, modülünüzün zarar görmemesi için dönüştürücüyü, üzerinde bulunan jumper vasıtasıyla 3.3V güç modunda kullanılmalıdır. Firmware yüklemesi yapıldıktan sonra Wifi modül karta enerji verebilmek ve seri haberleşme yapıp veri aktarabilmek için motor sürücü kartın üstünde bulunan USB porttan Wifi modem karta kablo yardımı ile bağlanmaktadır. Modem kartın sinyalini artırmak için anten takılabilmektedir. Tanka montaj sırasında kart zarar görmesin diye yükseklik verilerek montajı sağlanmıştır.



Şekil 8 Motor Shield Kart



Şekil 9 Servo Motorlu Kamera

Motor Sürücü kartı ile 2 adet servo ve 2 adet DC motor sürebilmek için üstünde bağlantı noktaları bulunmaktadır.

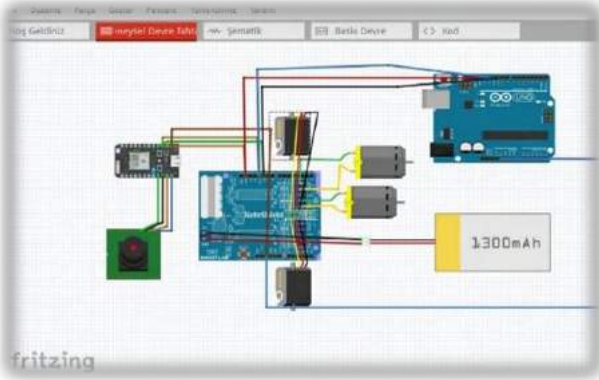
Kaynak yazılım yapıldıktan sonra telefonda kontrol edilebilmek için motor sürücü bağlantı yerleri yapılmıştır. Bu kart aynı zamanda Wifi modülün ağ kurup Android cihazlarla iletişim kurabilmesi için Wifi modem kartı çalıştırmaktadır. Servo motorlar hız ve ivme kontrollerini hatasız bir şekilde yapan belirli açılara sahip ve gönderilen açılarda sabit olarak açısal ve doğrusal pozisyon ayarlarını yapabilen mekanizmalara sahip motorlardır. Servo motorlar robot teknolojilerinde çok kullanılan motorlar olmakla birlikte yapılan açısal hareketleri her geçen gün geliştirilmektedir. RC arabalarda sağa ve sola doğru yönelmelerde kullanılmaktadır.

Servo motorlar büyük güç, yüksek moment ve hızlı tepki gerektiren sistemlerde daha çok kullanılmaktadır (Yılmaz,2008). Servo motorların en çok tercih edilme sebebi gelen komutu yerine getirdikten sonra orada sabit olarak kalabilmesidir. Açısal kontrolü bulunduğu için ve bulunduğu konumda kalabilme özelliğinden kameramızın hareketlerinde Servo motorlar kullanılmıştır. Genellikle çalışma açıları 180 derece ile sınırlıdır. Özel amaçlı olarak 360 derece açıda çalışan Servolarda kullanılmaktadır. Kullanılan sistemde 180 derece açı yapabilen Servolar tercih edilmiştir.

2.1. Fritzing Programında Tasarlanan Devre Şeması

2.1.1. Devrede Kullanılan Elemanlar

Motor Shield ile Arduino UNO birbirine paralel bir şekilde bağlanmıştır. GÖKALP-01 bomba imha robotu ile kullanıcının şüpheli bir nesneyi 600 m mesafeden inceleyebilmesini sağlamaktadır. Çelik araç platformu sayesinde ağırlık minimum seviyeye çekilerek hızlı hareket etmesini ve kayalıklı arazilerde, dik yamaçlarda, kar ve çamur gibi çevre koşullarında en zor zeminlerde rahatlık ile hareket edebilmektedir.



Şekil 9 Devre Elemanları

İnsanların gözünde bomba imha robotu denildiği zaman genellikle ağır, sabit kameralı, yavaş hareket eden, akü ile beslenen, robot kol ile tehlikeli nesnelere müdahale eden mini tanklar gelmektedir. Tasarlanan tankta (GÖKALP-01) ise robot kol olmadığı için nesneye bir temas olmamaktadır. Nesne uzaktan lazer ile yakılarak imha edilmekte, kameramız 180° aşağı- yukarı, sağa-sola hareket edebilmekte ve hedefi her açıdan görebilmeyi sağlamaktadır.



Şekil 10 GÖKALP-01 Tank Robot

12V enerji, LİPO pillerden sağlandığı için hareket hızı yükselmekte ve kasa çelik sactan yapıldığı için ağırlık 3 kg geçmemektedir. Bomba imha uzmanlarına ve askeri alanlarda hızı yükseltmiş ağırlığı düşürülmüş, her açıdan görme imkânı sağlayan imha robotu çok yararlı bir şekilde kullanıma hazırlanmıştır.



Şekil 11 GÖKALP-01 Tank Robot

Mobil uygulama tasarımında Mıt App Inventor uygulaması kullanılmıştır. Mobil uygulamada ilk aşamada kameradan telefona veriler aktarılabilmesi için her komuta belirli adresler verilmiştir. Mobil uygulamanın belirli aşamaları hakkında bilgi verilmiştir. Arduino Kartın içine yüklenen yazılım ve ayrıntılı mobil uygulama kod blokları hakkında bilgi verilememiştir. Makale sayfa sayısının yükselmemesi için belirli komutlar açıklanmıştır.

2.1.2. Arduino Programında Verilen Komut Adresleri

SOLA=FF000300FF

İLERİ SOLA= FF000700FF

GERİ SOLA = FF000700FF

SOLA DÖN = FF000700FF

SAĞA= FF000400FF

İLERİ SAĞA= FF000600FF

GERİ SAĞA = FF000800FF

SAĞA DÖN = FF001000FF

DUR= FF000000FF

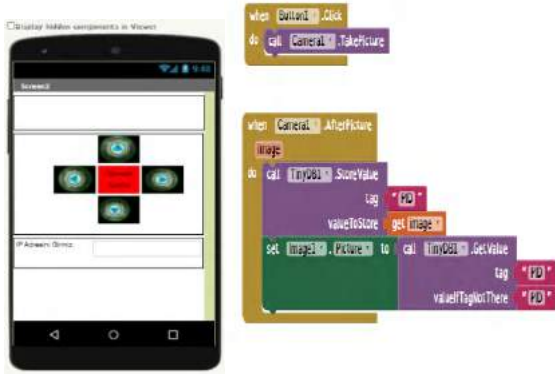
PORT ADRESİ=2001

IP ADRESİ=192.168.1.1



Şekil 12 Mıt App İnvortor Programı ile Kameranın Görüntü Aktarım Kısımı

Mobil uygulamaya kamera komutunun aktarılabilmesi için Mıt App İnvortor programı içerisinde bir buton seçilmekte ve uygulamayı başlat sekmesi işlenmektedir. Bu butona basıldığında kamera başlasın sekmesi verilmekte ve yazılan yazılım ile kameranın açılacağı görüntü aktarımının başlayacağı sayfa açılmaktadır.



Şekil 13 Mıt App Invtor Programı ile Telefondan Kontrol Komutları

Yukarıda verilen sayfada 4 adet buton tanımlanmıştır. Tankı mobil uygulamadan kontrol etmek için sağa ve sola geri durdurma komutları için tanımlamalar yapılmıştır. IP adresi girildiği zaman Wifi modem kartına ulaşılmakta ve gerekli komutlar tankın kontrolü uzaktan yapılabilir konuma gelmektedir.



Şekil 14 Görüntü Aktarma Testi

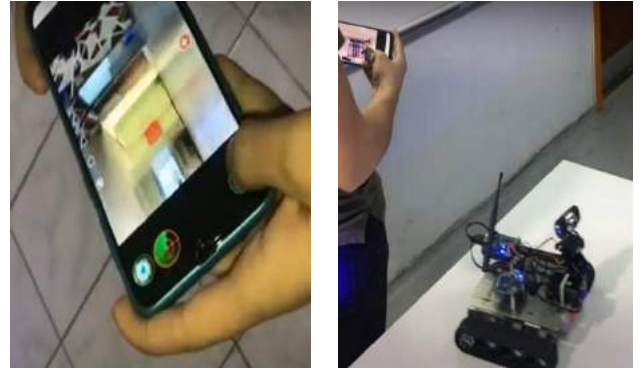
3.Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bulgular kısmında tank robotumuza yapılan testler ile ilgili bilgiler verilmiştir. İlk olarak tank robotumuzun enerji kaynağı olan 12V LİPO piller Avometre ile ölçülerek enerjideki veya e-ISSN: 2148-2683

pillerde bir sıkıntı olup olmadığı tespit edilmiştir. Daha sonra motorlarımızın ve elektronik diğer elemanlarımızın kaç amperlik akım çektiği tespit edilmiştir. Böylelikle enerji kaynağımızın kaç saatlik kontrol sağlayacağı tespit edilmiştir burada yapılan hesaplamalarda enerji kaynağımız sorunsuz bir şekilde 3.5 saate kadar tankı çalıştırabilmektedir.

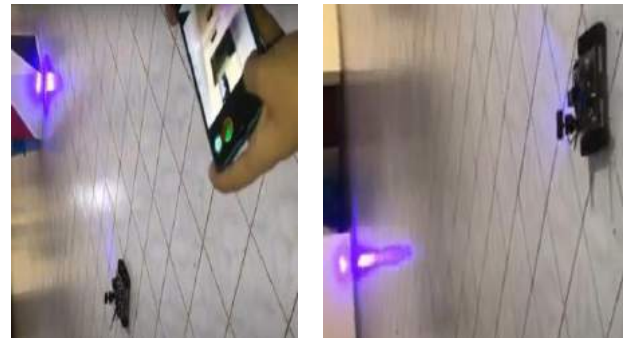
Tankın (GÖKAL-01 belirli engebeli arazilerde, doğa ortamında ve rampalarda nasıl hareket ettiği zorlu yollarda engelleri aşır aşamaması üzerine testler yapılmıştır. Elektriksel olarak testlerde uygulandı ve özellikle rampaları alırken motorlara aşırı yük binmesi üzerine motorların çektikleri akımlar yükseldi bunların ayrıntılı hesaplamaları yapılmıştır. Robotumuza yapılan testler uluslararası robot testleri ile aynı statülerdedir.

Robotumuzun arazideki testleri yapıлып yol alması arazi şartlarına uyum sağlayıp sağlayamayacağının gerekli testleri yapılmıştır. Tanka enerji verip mobil uygulamadan kontrolü kameradan görüntü aktarılıp aktarılmadığı kontrol edilmiştir ve yapılan testlerden başarı ile geçmiştir. Mobil uygulamadan tankın hareketlerini sağlayan DC motorların kontrollerini, etrafında olan nesnelere algılamak için radar sistemini, kamerayı hareket ettirebilmek için Servo motor kontrollerini, yerçekimini, DC motorların hız ayarlarını ve kameranın çektiği görüntüleri cihazımıza kayıt ettirme gibi birçok özelliği sağlamaktadır.



Şekil 15 Mobil Uygulama Hareket Testi

Lazer modülün mesafe testi yapılmıştır. Ne kadarlık mesafede hedefe zarar verdiği tespit edilmiş, 500 m yarıçapa sahip alana kadar hedefi erittiği tespit edilmiştir. Bu test, insan veya bir hayvan üzerinde tespit edilmemiştir. Duvara bıraktığı yakma izleri üzerinden tespit yapılmıştır. Ayrıca GÖKALP-01'in Çakıl Taşı Testi, Kum Testi ve Rampa Testi de yapılmış olup, testler başarılı sonuçlanmıştır.



Şekil 16 Lazer Modül Mesafe Testi



Şekil 17 Rampa Testi



Şekil 18 Çim Testi



Şekil 19 Çakıl Taşı Testi

Tasarlanan tank robotta (GÖKALP-01) hazır kütüphaneleri olması sebebiyle Arduino tercih edilmiştir. Arduino kartta işlemcinin verileri işleme hızı, yani telefondan mobil uygulama ile gönderilen sinyalleri tankın hareket mekanizmasına geçirmesi 1s kayıplara neden olmaktadır. Bunun ile ilgili olarak da Arduino kullanılan mikroişlemci kartta iyileştirmeler yapılarak kart tekrar programlanmış ve içerisinde bulunan mikroişlemci de ki seri ekran haberleşme hızını 9600'den 115200 çıkardık kartın hızlı veri işlemesi sağlanmıştır.

Bunun dışında Wifi modem kartında da iyileştirilmeler yapılmış, kullanılan anten ve kartın bağlantı noktasına lehimleme işlemleri yapılmış ve uzaklık mesafesinde 50m bir alan daha kazanmış olduk. Tankımızda (GÖKALP-01) bulunan Arduino kart çekmiş olduğu akımın düşüklüğü, ebatları ve vida montajı için üzerinde bırakılmış olan delikler sayesinde kullanım sebebi

olmuştur. Tasarımda tankın (GÖKALP-01) üst kısmına kartları montaj edebilmek için bırakılan deliklere Arduino üzerinde bulunan delikler tam olarak oturmuştur. Böylelikle rahat montaj sağlanmıştır.

Tankın kasası çelik sac olduğu için tankta kullanılan elektronik kartların bu zemine oturduğunda kısa devre yapma sıkıntısı oluşturabileceği için gerekli yükseltmeler yapılmış ve elektronik kartların kasaya teması kesilmiştir. Arduino kartın internet ortamında açık kaynak yazılımına sahip bir kart olduğu için birçok örnek yazılım bulunmaktadır. Herhangi bir problemde internet ortamından yararlanılarak yazılımda gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir.

4. Sonuç

Tankımızın (GÖKALP-01) kullanım alanı keşif, savunma sanayi, arama kurtarmadır. Üzerine GPS modülleri gibi kartlar eklenerek girdiği arazinin konumlarını ve haritasını çıkarma gibi işlemler yapılabilir. Buna ek olarak, tankın üzerinde bulunan kameradan yararlanarak çektiği görüntüleri aktarması sayesinde o konuma giden insanlar arazinin şartları hakkında bilgi sahibi olabilmektedir. Bu sayede keşif ve arama kurtarma gibi görevlerin üstesinden başarı ile gelebilmektedir. Kameranın bağlı olduğu Servo motorların hareketleri sonucunda görüş açısında yüksek oranda düzelme olmuş ve stabil bir kamera yerine hareketli kamera sayesinde görüş açımızın artırılması sağlanmıştır.

Bunun dışında güvenlik ve arazi şartları ile doğru orantılı çalışabilecek bir tank elde edilmiştir. Krom katılarak oluşturulan çelik sac sayesinde tank (GÖKALP-01) hafiflik kazanmış ve hava şartlarına karşı yüksek dayanıklılık göstermesi sağlanmıştır. Tankta (GÖKALP-01) kullanılan 12v DC redüktörlü motorlar sayesinde manevra ve hız kabiliyeti artmıştır. Haberleşme sisteminde kullanılan Wifi modem kartı sayesinde yüksek mesafelerden bile kontrolü sağlanmış, veri akış hızı artırılmıştır. Yapmış olduğumuz testlerde tankımızın 600 m alanda iletişimin kopmadığı saptanmıştır. Tankımızın üzerinde bulunan lazer modül ile 500m mesafelerde bile hedefe vurduğu ve erittiği tespit edilmiştir. Doğa ortamında yapılan bütün arazi testlerinden başarı ile çıkan tank (GÖKALP-01), rampa ortamında rampayı alırken dişlilerin bağlı olduğu paletin ön kısmından rampayı alabilmiştir. Tam tersi yöndeki denemelerde tankımız zorlanmıştır. Motordaki kuvvet aktarıldığı için ön kısmındaki torku ile paletle bağlandığımız rulmanlı tekerin olduğu arka kısmındaki torklar arasında farklılıklar vardır.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde kıymetli bilgilerini paylaşan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Uzun'a ve çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eşim Bilgehan İYİĞÖREN KAPUSIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

Bay, Ö. F. ve Görgünoğlu, S. (2002). 8051 Ailesi Mikrodenetleyici Eğitim Setinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 5 (3), 195-207.

- Gelen, A. ve Tüfekcioğlu, E. (2020). Lityum- Polimer Piller İçin Şarj ve Dengeleyici Devre Tasarımı, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 839-846.
- Güngör, O. (2015). Kaçak Elektrik Kullanımının GSM Aracılığıyla Takibi, *EMO Bilimsel Dergi*, 4(8), 29-33.
- Karacı, A. ve Erdemir, M. (2017). Arduino ve Wifi Temelli Çok Sensörlü Robot Tasarımı ve Denetimi, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 435-442.
- Ozan, E. (2020). Robotlar ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Batman.
- Özdemir, D. ve Köse, C. (2008). Gezgin Robotların Çiftliklerde Ürün Yeri Belirleme ve Taşıma İşlemlerinde Kullanımı, *EÜFBED Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 49-60.
- Postalcioglu, S. ve Köktürk, Ç. (2019). Bilgisayar Destekli DC Motor Hız Denetimi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 920-925.
- Tezel, C. (2017). Elektrik Tahrikli Mobil Kontrollü Tank Robotun Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gelişim Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Yılmaz, F. H. (2008). AC ve DC Servo Sistem Eğitim Setinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya.



Betonarme Bir Bina Örneğinde Hızlı Değerlendirme Yöntemi ile İnceleme

Şebnem Metin^{1*}, Duygu Öztürk²

^{1*} Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7211-9949), sebnemmetin5@gmail.com

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7800-7438), duygu.ozturk@ege.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014256)

ATIF/REFERENCE: Metin, Ş., & Öztürk, D. (2021). Betonarme Bir Bina Örneğinde Hızlı Değerlendirme Yöntemi ile İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1254-1257.

Öz

Ülkemizin büyük bir kısmının deprem bölgesinde bulunması nedeniyle, meydana gelen büyük depremler sonucunda çok sayıda can kaybı ve maddi hasarlar oluşmuştur. Can kayıplarının asıl nedeninin binaların göçmesinden kaynaklandığı görülmektedir. Olası depremlerde hangi binaların göçme riskine sahip olduğunu görebilmek için yapının zemin ve malzeme özellikleri belirlenerek detaylı incelemeler yapılması gerekmektedir. Binaların bu özellikleri için elde edilen veriler dikkate alınarak bilgisayar programlarında modelleme ve analizleri yapıldıktan sonra binanın durumu değerlendirilebilmektedir. Ancak bu tür detaylı yapı analizleri oldukça uzun zaman almakta ve maliyetli olmaktadır. Ülkemizdeki yapı stoğunun çoğunluğunun eski yönetmeliklere göre yapılmış olması ve bu yapıların öncelikli inceleme ihtiyacının oluşması durumun yoğunluğunu arttırabilmektedir. Bu yüzden daha hızlı ve ekonomik olan yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla hızlı değerlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde, incelemek istenen bina, geliştirilen yöntemde istenen parametrelere bağlı olarak ele alınmakta ve binanın durumu belirlenmektedir. Hızlı değerlendirme yöntemlerinin kullanımında detaylı analizdeki gibi kesin sonuç alınmamakla birlikte göçme riski yüksek olan binaların daha kolaylıkla belirlenmesi amaçlanmaktadır. Böylece bu tür riske sahip olan yapıların öncelikli olarak daha detaylı incelenmesi sağlanabilmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş birçok hızlı değerlendirme yöntemi vardır. Bu çalışmada hızlı değerlendirme yöntemlerinden; FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi, Kanada Sismik Tarama Yöntemi ve P25 Puanlama Yöntemi ele alınmış ve betonarme bir bina projesine uygulanarak bu yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bina, Hızlı Değerlendirme Yöntemi, FEMA154, Kanada Sismik Tarama Yöntemi, P25 Puanlama Yöntemi.

Investigation of a Reinforced Concrete Building by Rapid Assessment Method

Abstract

Most regions of Turkey are located on earthquake zone. So, many lives were lost and materials damage occurred because of major earthquakes. The main cause of loss of life is due to the collapse of buildings. To determine the risk of collapse for each building, detailed analyse should be done by using soil conditions and materials specifications. Using the data obtained, the building condition assessment is determined by modelling and analyzing in computer program. This kind of detailed investigations of buildings take a long time and cost high. The majority of the existing buildings in Turkey were built by using old Turkish Seismic Codes. Therefore, existing buildings should be investigated primarily. It shows workload and needs to use faster and economical methods. For this reason, some rapid assessment methods have been developed. Collapse risk of building is investigated by using the parameters required by these methods. The results of rapid assessment methods are not accurate as detailed analyse but aim is to determine the collapse risk of building easier. Thus, more detailed analyse should be done to the building with collapse risk. There are a lot of rapid assessment

* Sorumlu Yazar: sebnemmetin5@gmail.com

methods. In this study, FEMA 154 Rapid Visual Screening method, Canadian seismic survey method, and P25 Scoring method were applied for RC building. Then the results have been examined.

Keywords: Building, Rapid Assessment Method, FEMA 154, Canadian Seismic Survey Method, P25 Scoring Method.

1. Giriş

Ülkemizin %90'ından fazlası deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu yüzden yapıların depreme karşı güvenliği önemlidir. 17 Ağustos 1999 İzmit-Düzce depreminde büyük can ve mal kaybı oluşmuştur. Bunun üzerine can kayıplarını minimize etmek için alınan önlemler konusunda yapılan çalışmalar artmıştır. Bu yönetmeliklere de yansımış, 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2018 yılında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir.

Mevcut bina stoğunun eski yönetmeliklere göre inşa edilmiş olması binaların depreme karşı performanslarının ölçülmesini önemli hale getirmiştir. Fakat büyük şehirlerde bu tür detaylı analizleri yapmak hem maliyetli hem de uzun zaman almaktadır. Bu nedenle olası bir depremden önce göçme riski olan binaları tespit etmek amacıyla hızlı değerlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Türkiye'de ve diğer ülkelerde de hızlı değerlendirme yöntemleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu amaçla geliştirilen hızlı değerlendirme yöntemleri arasında, FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi, Kanada Sismik İndeks Yöntemi ve P25 Puanlama Yöntemi yer almaktadır.

Kızılkaya (2018) çalışmasında FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi, Kanada Sismik Tarama Yöntemi ve Japon Sismik İndeks Yöntemi'nin birinci aşaması detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu yöntemler üç farklı bloktan oluşan bir ilkokul binasının bir bloğu üzerine uygulanmıştır. Çalışma sonucunda üç farklı yöntemden elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi ve Kanada Sismik Tarama Yöntemi'nin daha hızlı uygulanabilir yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat Japon Sismik İndeks Yöntemi uygulaması daha çok zaman almakla birlikte daha güvenilir sonuçlar veren bir yöntem olduğu görülmüştür.

Efekan (2019) tarafından yapılan çalışmada FEMA 154, Kanada sismik tarama yöntemi, Japon sismik indeks yöntemi kullanılmıştır ve örnek 3 bina üzerine uygulanmıştır. Örnek binalardan birincisi orta hasarlı, ikincisi depremin etkisiyle göçmüş, son bina ise üç sene önce inşa edilmiş bir betonarme binadır. Yapılan bu çalışmada seçilen hızlı tarama yöntemlerinin incelemesi yapılmış yapılarda aynı sonuca doğru ve hızlı bir şekilde ulaşılabilirliği görülmüştür.

Tural (2014) tarafından yapılan çalışmada risk seviyesinin yüksek olduğu saptanan bodrum kat ve zemin kat dahil olmak üzere altı katlı betonarme bir binaya, Kanada Sismik Tarama, Japon Sismik İndeks, P25 Puanlama, Kolon ve Duvar İndeksleri ve Kapasite İndeksi Yöntemleri olmak üzere beş farklı hızlı değerlendirme yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yapının depreme karşı güvenilirliğinin düşük olduğu sonucu doğrulanmış olmuştur.

Bal vd.,(2007) çalışmalarında P25 Puanlama yöntemi detaylı bir şekilde açıklanmış ve yöntem daha önce yaşanmış olan depremlerde hafif, orta ve ağır hasara sahip ya da göçmüş 311 adet binaya uygulanarak kalibre edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda önerilen bu yöntemin, göçebilecek kanısına varılan binaları büyük bir ölçüde doğruladığı görülmüştür. Bununla birlikte, yöntemin uygulamasında yer alan ayrıntılı inceleme

bandının genişliği ve bant genişliğinin de maliyete olan etkisi açıklanmıştır.

Gülay vd., (2010) çalışmalarında P25 Yöntemi İstanbul-Kadıköyde 40 adet binaya uygulamıştır. Bu binalar 1960 yılından önce inşa edilmiştir. Yapıların alt katları dükkân olarak kullanıldığından çoğu yapıda yumuşak kat görülmüştür. Bu da sonuç puanının düşük olmasını göstermiştir. Yumuşak kat etkisinin dışında birçok yapıda ise kısa kolon da görülmektedir. Bu durum da sonuç puanında olumsuz bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Yeşilkaya vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi açıklanmıştır. Sonra bu yöntemle hızlı sokak taraması yapıp puanı düşük olan binaların Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun Uygulama Yönetmeliği altında risk analizi yapılmıştır. Riskli Yapı Tespit Esaslarında yapı yüksekliği maksimum 25 metre veya sekiz katı geçmeyen yapıları ele aldığı için yüksek katlı binalar bu çalışmada kullanılmamıştır. Sonuç olarak, bu iki yöntem kıyaslanmış ve ne kadar uyumlu olup olmadığına bakılmıştır.

Işık, (2015) tarafından yapılmış çalışmada 2011 yılında meydana gelen Van depreminde tamamıyla çöken Gedikbulak İlköğretim Okulu'na Japon Sismik İndeks Yöntemi, Kanada Sismik Tarama Yöntemi ve P25 Puanlama Yöntemi uygulanmıştır. Amaç, hızlı değerlendirme yöntemleri sonucunda elde edilen durum ile depreme maruz kalmış bir yapının gerçek davranışı arasındaki uyumluluğu incelenmiştir.

Altınar (2008) tarafından yapılan çalışmada betonarme binaların göçme riskini belirleyebilmek için dört farklı hızlı değerlendirme yöntemi seçilmiştir. Seçilen bu yöntemler 1999 Kocaeli depreminde orta hasar seviyesine sahip bir binaya uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada üç farklı hızlı değerlendirme yöntemi; FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi, Kanada Sismik İndeks Yöntemi ve P25 Puanlama Yöntemi kullanılmış ve yöntemlerden elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

2.1. FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi

Bu yöntemde, yapının bulunduğu bölgeye veya yapının türüne, örneğin moment aktaran çelik çerçeve S1, çapraz çelik çerçeve S2, perde duvarlı çelik çerçeve S4, yığma duvarlı çelik çerçeve S5, moment aktaran betonarme çerçeve C1, perde duvarlı betonarme çerçeve C2, yığma duvarlı betonarme çerçeve C3, prefabrikte betonarme çerçeve PC2 ve yığma yapılar URM olmak üzere, çeşitli değişkenlere bağlı olarak formlar düzenlenir. Ayrıca kat adedi, kullanım amacı, zemin sınıfı, inşa yılı, yapısal düzensizlikler gibi parametreler de mevcuttur. Yapı tipi belirlendikten sonra yapıda yer alan parametrelere karşılık gelen değerler toplanarak S nihai sonuç puanı elde edilir.

2.2. Kanada Sismik Tarama Yöntemi

National Research Council Canada (NRCC) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Yapının bulunduğu bölgenin depremselliği, yapının bulunduğu zemin tipi, yapının taşıyıcı

SEISMIC SCREENING FORM										
SEISMIC PRIORITY INDEX. Check appropriate value and enter each result on right side. Use asterisk (*) with uncertain values.										
(Effective Seismic Zone Z_e or $Z_e + 1$ if $Z_e > 1$)										
4. Seismicity	Design NBC	2	3	4	5	6				
	Pre-85	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0				
	85-89	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5				
5. Soil Conditions	Design NBC	Rock or stiff soil				Soft soil		Very soft or liquefiable soil		Unsuitable soil
	Pre-85	1.0				1.5		2.0		1.5
	Post-85	1.0				1.0		1.0		1.0
6. Type of Structure	Design NBC	Wood	Steel	Concrete	Precast	Masonry				
	Pre-70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				
	70-84	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				
7. Building Irregularities	Design NBC	1. Vertical	2. Horiz.	3. Short columns	4. Soft	5. Modif. stiffn.	6. Diaphragm	7. Other	8. Note	
	Pre-70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	Post-70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
8. Building Importance	Design NBC	Low Occupancy	Normal Occupancy	Schools or High Occupancy	Public Buildings or Very High Density	Special Operational Requirements				
	Pre-70	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0				
	Post-70	0.7	1.0	1.2	1.5	2.0				
N = Occupied Area x Occupancy Density x Duration Factor = 1.0 x 1.0 x 1.0 = 1.0										
Primary Use: Assembly, Personal service, Office, Institutional, Manufacturing, Storage										
Average Weekly Hours of Normal Occupancy: 1-3, 4-8, 9-30, 30-60, 60-80, 80-100, 100										
Duration Factor is equal to the average weekly hours of normal occupancy divided by 168, not greater than 1.0										
SI STRUCTURAL INDEX = A - B - C - D - E = 1.5										
NSI NON-STRUCTURAL INDEX = B - E - F = 3										
SPI SEISMIC PRIORITY INDEX = SI + NSI = 4.5										

Şekil 4 Kanada Sismik Tarama Formu – 2

3.3. P25 Puanlama Yönteminin Uygulanması

Bu çalışmadaki örnek için P25 Puanlama Yönteminin uygulanması ile efektif kat, efektif kat atalet momentleri (I_x , I_y), bileşke enkesit alan endeksi, bina yüksekliğine bağlı olarak düzeltme çarpanı kullanılarak P0 puanı hesaplanmıştır.

P1 temel yapısal puanı, f_1 burulma düzensizliği, f_2 döşeme süreksizliği, f_3 düşey doğrultuda süreksizlik, f_4 kütle düzensizliği, f_5 korozyon, f_6 ağır cephe elemanları, f_7 asma kat, f_8 katlardaki seviye farkı ve kısmi bodrum, f_9 beton kalitesi, f_{10} zayıf kolon-kuvvetli kiriş, f_{11} etriye sıklığı, f_{12} zemin sınıfı, f_{13} temel tipi, f_{14} temel derinliği düzeltme katsayıları dikkate alınarak elde edilmiştir.

P2 kısa kolon, r_a ve r_r değerlerine bağlı olarak P3 yumuşak ve zayıf kat puanı da hesaplanmıştır. P4 çıkımlar ve çerçeve süreksizliği puanı, P5 çarpışma puanı, P6 sıvılaşma potansiyeli puanı, P7 toprak hareketleri puanı belirlenerek, α ve β düzeltme çarpanı ile P sonuç puanı 31,5 olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada Bursa'da konut olarak olarak projelendirilen iki katlı bir binaya FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yöntemi, Kanada Sismik Tarama Yöntemi ve P25 Puanlama Yöntemi uygulanarak binanın durumu incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama Yönteminde nihai skor değeri 3 olarak hesaplanmıştır ve yapının güvenli olduğu sonucuna varılmıştır. Kanada Sismik Tarama Yönteminden elde edilen yapısal indeks değeri (SI) 1.5, yapısal olmayan indeks değeri (NSI) 3, sismik öncelik indeks değeri (SPI) de 4.5 olarak hesaplanmıştır ve yapı 'yeterli deprem güvenliği' kategorisine girmiştir. P25 Puanlama Yönteminde P sonuç puanı 31.5 olarak hesaplanmıştır ve yapının 'daha detaylı bir inceleme gerektiren bina' sınıfına girdiği görülmüştür.

Kaynakça

- Altın, M., (2008), Deprem Etkisindeki Betonarme Binaların Göçme Riskinin Saptanması İçin Hızlı Değerlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Bal İ.E., Tezcan S., Gülay F.G., (2007) ,Betonarme Binaların Göçme Riskinin Belirlenmesi İçin P25 Hızlı Değerlendirme Yöntemi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007.
- Bal İ.E., (2005), Deprem Etkisindeki Betonarme Binaların Göçme Riskinin Hızlı Değerlendirme Yöntemleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans, İTÜ, İstanbul.
- Efekan S., (2019), Yapıların Deprem Performanslarının Hızlı Değerlendirme Yöntemleri ile Belirlenmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması, Yüksek Lisans, Maltepe Üniversitesi, İstanbul.
- Gülay, F.G., Bal, İ.E., Gökçe, T., Çelik, N., (2010), Field Applications of P25 Preliminary Assessment Method for Identifying the Collapse Vulnerability of Existing RC Structures, 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Trabzon, 27-30 September.
- Işık, E., (2015), Hasarlı Bir Betonarme Binanın Performans Puanının Hesaplanması, International Anatolia Academic Online Journal, 3(2): 47-52
- Kızılkaya, Ş., (2018), FEMA 154 Hızlı Görsel Tarama, Kanada Sismik Tarama ve Japon Sismik İndeks Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi ve Uygulanması, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul .
- NRCC, National Research Council of Canada: Manual for Screening of Buildings for Seismic Investigation. Canadian Standart. Ottawa, 1993.
- Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. FEMA154 ATC-21 Applied Technology Council, 3 Twin Dolphin Drive, Redwood City, California 94065, USA, April, 2002
- Tural, M., (2014), Betonarme Yapıların Deprem Güvenilirliklerinin Hızlı Değerlendirme Yöntemleri ile Karşılaştırılması, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Uluğ, A., (2004), 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin 5. Yıldönümünde Ülkemizdeki Deprem İzlenimleri. İMO İzmir Şubesi; 118: 40-41.
- Yeşilkaya, K., Bekkaya, E., Tuhta, S., (2015), Hızlı Gözlem Teknikleri İle Belirlenmiş Betonarme Yapıların "Riskli Yapıların Tespit Esasları 2013" İle Analizi, 5th International Earthquake Symposium, Kocaeli, 10-12 June.



Emniyet Kilidi Üretim Hattının Simülasyon Kullanılarak İncelenmesi

Büşra Bakdaal^{1*}, Esra Kurt Tekez²

^{1*} Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3936-2928), busra.bakdaal@ogr.sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0429-5593), etekez@sakarya.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014411)

ATIF/REFERENCE: Bakdaal, B. & Kurt Tekez, E. (2021). Emniyet Kilidi Üretim Hattının Simülasyon Kullanılarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1258-1264.

Öz

Büyük ölçekli şirketlerde olduğu gibi, bu şirketlere fason üretim yapan orta ve küçük ölçekli işletmelerde de iş süreçleri yönetimi son derece önemlidir. Bu işletmelerin günümüzde varlıklarını sürdürebilmeleri ve rekabet avantajını sağlayabilmeleri için üretim süreçlerini gözden geçirerek, çıktıyı artıracak çalışmalar yürütebilmesi ve bunun sonucunda ürün teslim sürelerini daha kısa sürede gerçekleştirebilmeleri gerekmektedir. İmalat çevrim süresinin kısaltılması, fason üreticilerin pazar paylarında ve üretim kapasitelerinde artışa imkan sağlayacaktır. Bu avantajları elde edebilmek için, mevcut üretim sistemlerini detaylı bir şekilde analiz etmeleri ve sistemi iyi yönetebilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, emniyet ve güvenlik sistemleri sektörüne fason imalat yapan bir firmada, emniyet kilidi üretim ve montaj süreçlerinde ortaya çıkan aksaklıklar ve gecikmeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Sürecin, hammaddenin sisteme girişi ve nihai ürün olarak çıkışına kadar simülasyonu oluşturulmuş ve tüm istasyonların sistemin çıktısına olan etkisi incelenmiş, darboğazlar tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda sistem üzerinde yapılan bazı değişiklikler ile çıktı miktarının artarak gecikmelerin azalabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, Üretim Sistemi, Rekabet Gücü

Examination of Safety Lock Production Line Using Simulation

Abstract

As in large-scale companies, business process management is extremely important in medium and small-scale enterprises that outsource to these companies. In order for these enterprises to maintain their existence and provide competitive advantage today, they need to examine their production processes, carry out actions to increase output and, as a result, realize product delivery times in a shorter time. Reducing the manufacturing cycle time will allow for an increase in the market shares and production capacities of contract manufacturers. In order to obtain these advantages, they need to analyze the existing production systems in detail and manage the system well. In this study, it has been tried to determine the faults and delays that occur in the production and assembly processes of the safety lock in a company that makes contract manufacturing for the safety and security systems sector. The process was simulated from entering the raw material to exiting as the final product, and the effect of all stations on the output of the system was examined, and bottlenecks were identified. As a result of the study, it was concluded that with some changes made on the system, the amount of output can be increased and the delays can be reduced.

Keywords: Simulation, Production System, Competitiveness

* Sorumlu Yazar: busra.bakdaal@ogr.sakarya.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda üretim sistemlerinin davranışlarının ve performansının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Üretimle ilgili karar destek sistemlerinden biri olan simülasyon, hem üretim sistemlerinin yapısında hem de performans analizinde kullanılan etkili bir araçtır. Bir üretim sisteminin modelini oluşturmak özel etkinlik gerektiren zor bir iştir [1]. Bu süreci hızlandırmak ve kolaylaştırmak için geliştirilen simülasyon yazılımları mevcuttur. Simülasyon yapılacak konuya göre kullanım ve yazılım dilleri farklılık gösterebilmektedir. Örneğin üretim sektörüne yönelik kullanılan programlar olabileceği gibi, genel amaçlı olarak kullanılacak simülasyon modelleme dilleri de olabilmektedir.

Halihazırda çalışmakta olan gerçek bir sistem üzerinde değişiklik yapmak bazı durumlarda olası değildir. Bir diğer durum ise sisteme uygun olmayan sonuçlar doğurarak müdahaleye sebep olabilir. Bu nedenle mevcut sistemin kurgulanarak simüle edilmesi süreç iyileştirmesine ya da herhangi bir proste meydana gelecek değişikliğin etkisini gözlemlemeye yardım eder. Bu durum geri dönüşü olmayacak işlemlerin doğmasını engelleyerek, olası çözümler üretilmesine olanak sağlar. Olası çözüm ve etkilerin tespitinde gerçek sistemin iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Literatürde üretim sektöründe karşılaşılan sorunları çözmeye yönelik simülasyon tekniğinden faydalanan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Popovics ve diğerleri [1], üretim sistemlerinin simülasyonu için benzetim modelinin genel veri yapısı üzerine yazılımlar geliştirmişler ve bu yazılımları doğrulamak için farklı çalışmalar yürütmüşlerdir. Sistemin detaylarının ve toleranslarının ne kadar iyi tanımlanırsa o kadar doğru sonuçlar elde edilebileceğini savunmuşlardır. Ünal ve Bilget [2] çalışmalarında, bir konfeksiyon firmasında üç farklı ürünün üretim süreçlerini inceleyerek çevrim sürelerini belirlemiş ve simülasyon tekniği ile model oluşturmuşlardır. Daha sonra yalın üretim prensiplerine göre yeniden bir sistem tasarlayarak SIMUL8 yazılımıyla alternatif modeller oluşturmuşlar, bu alternatifler ile hat dengelemesine izin veren, "kalp algoritması" ile tüm modelleri test etmişlerdir. Bu algoritmanın kurallarına göre oluşturulan modelde operatör başına ortalama verim %6,99 artırılmış, ana modeller üzerinde iş akışlarında yaptıkları değişiklikler ile tüm modellerde %20'ye varan iyileştirmeler elde etmişlerdir. Neeraj ve diğerleri [3], bir firmada üretim biriminin akışını incelemek ve darboğazları bulmak ve aynı zamanda verimliliği ve işgücü gereksinimlerini hesaplamak amacıyla Arena yazılımından yararlanmışlardır. Yeni bir model sunumu ile verimliliği %6 oranında arttırmış ve işgücü gereksinimlerini %8,33 oranında azaltmışlardır. Bunların yanısıra simülasyonun fabrika yerleşimlerini tasarlamak ve düzenlemek için de kullanılabilir olduğunu savunmuşlardır. Bir başka çalışmada, Kocaköz [4] simülasyon yönteminden faydalanarak, bitirme projesinde LPG silindir imalat hatlarının düzenlenmesini sağlamıştır. Bazı kaynakların kapasitesini artırarak günlük üretim miktarında %56 artış sağlamıştır. Yine talaşlı imalat yapan bir firmada Arslankaya ve Duran [5], Jeneratör üretimini ProModel paket programını kullanarak simüle etmiş, bu çalışmayla birlikte iş istasyonları arasında iş gücü ve kaynak kullanımını dengelemeyi ve üretimi satndartlaştırarak maliyetleri azaltmayı amaçlamışlardır. Yapılan uygulama çalışmasıyla birlikte üretimdeki tezgah sayılarını azaltılması ve robot alımı ile %21 iyileşme sağlamışlardır. Sütçü ve diğerleri [6], bir mobilya üretim tesisinin, iş ve zaman etüdü

analizinde REFA formlarını kullanarak veri toplamışlardır. Bu verileri Arena 14.0 benzetim yazılımı üzerinde modellemişlerdir. Darboğaza neden olan iş istasyonlarında iş zenginleştirme, iş basitleştirme ve iş değişimi ile yeniden modelleme yapılmış bu sayede katma değer oluşturmeyen faaliyetlerin ortadan kaldırılması ve süreç içi stokların azaltılması sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, üretim verimliliğinde %10'luk artışla çevrim zamanında 34 dk kazanç elde etmişlerdir. Sakcalı ve diğerleri [7], bir mermer ocağında, simülasyon tekniğinden faydalanarak performans analizi yapmışlardır. Çalışmalarında Rockwell-Arena yazılımını kullanarak, ayrık-olay modeli kurmuş ve mevcut durum analizini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonrasında elde edilen sistem de duyarlılık analizi yapılarak kaynakların performans göstergeleri değerlendirilmiştir. Yelkenci ve Tunalı [8], ısıtma ürünleri üretimi yapan bir işletmenin eşanjör üretim hattında modelleme çalışması gerçekleştirmişler, bu çalışma ile sistemdeki darboğazları tespit ederek istasyonların kapasitelerini iyileştirmeye yönelik alternatif modeller sunmuşlardır. Bu alternatifler üzerine %95 güven düzeyinde istatistiksel analizler yapılarak, mevcut sistemde darboğaz istasyonlarından biri olan presleme istasyonuna pres makinesi yatırımı yapılmasına karar vermişlerdir. Krishnan ve diğerleri [9], bir lastik üretim şirketinde katma değersiz işleri ortadan kaldırmak, darboğazları tespit etmek ve verimlilik artışı sağlamak amaçlı mevcut proseslerin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Pareto analizi ile darboğazları belirleyerek, sorunların kök nedenlerini balık kılıcı diyagramı kullanarak incelemişlerdir. Çözüm olarak işlem sürelerinin azaltılmasını ve makine yatırımı yapılmasını önermişlerdir. Yatırım maliyeti analizi ile başabaş süresini 88 gün olarak hesaplamışlardır.

Bilimsel araştırmalarda, benzetim metodu kullanılarak, üretim sistemleri üzerine yapılan bu çalışmalar literatüre katkı sağlamışlardır. Bu çalışmalar ile firmaların hali hazırda kullandıkları sistemleri simüle edebilmelerinin yatırım maliyetleri, kapasite kullanımları, varlık maliyetleri, üretim çıktı sayısı gibi bir çok konuda onlara fayda sağladığı gösterilebilmiştir.

Bu çalışmanın amacı büyük ölçekli kurumsal firmalara fason imalat yapan, küçük ve orta ölçekli işletmelerin de bu yöntem sayesinde sistem analizi yapabileceği ve rekabet gücünü arttırabilmelerine olanak sağladığını göstermektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada simülasyondan faydalanarak emniyet ve güvenlik sistemlerine fason imalat yapan fabrikanın emniyet kilidi üretim hattı incelenmiştir. Simülasyon, benzetim yöntemi ile gerçekte var olan bir sistemin bütün özelliklerini taşıyan, aynı çıktıları verebilen ve sistemin daha kolay bir şekilde anlaşılabilir olmasına imkan sağlayan sistemlerdir. Bir sistemin taklidini oluşturarak [10] süreç iyileştirme çalışmaları yapmaya olanak sağlayan ve farklı alternatifleri değerlendirmek için kullanılan bir problem çözme tekniğidir. Kullanıcının ürettiği çözümü analiz etmesini sağlar. Burada sistem optimize edilmeye çalışılır.

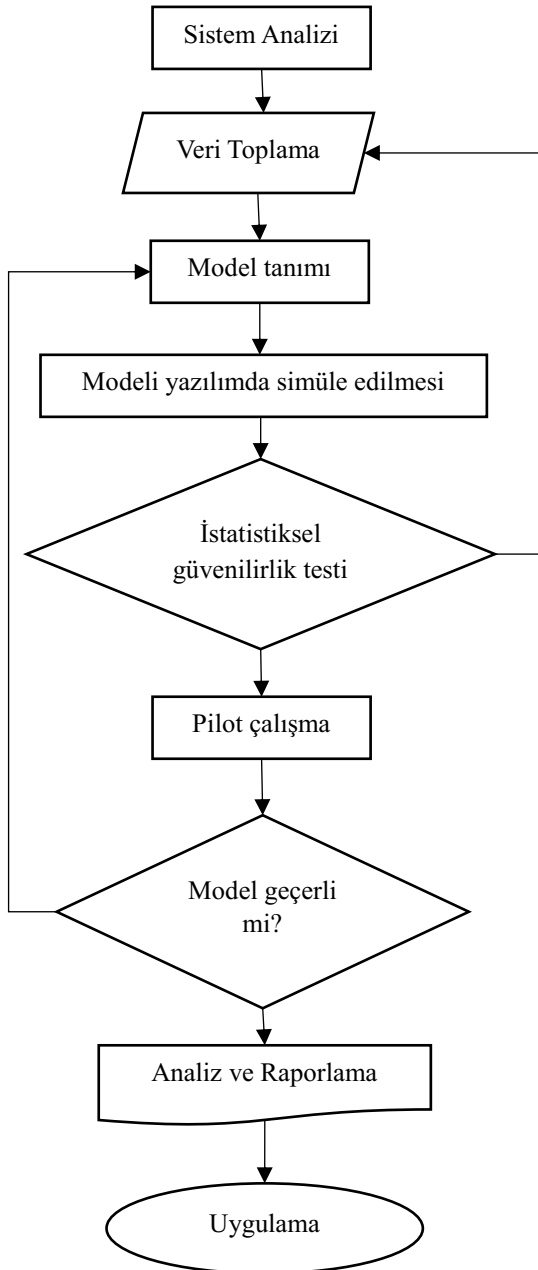
Günümüzde tıp, askeriye, trafik, üretim, ulaştırma v.b. gibi pek çok alanda simülasyondan yararlanılmaktadır. Simülasyon ile gerçek sistemin yapay bir ortamda işleyişini analiz etmek mümkündür. Böylelikle maliyetli ve zaman alıcı, bazen de imkansız olan denemeler yaparak sistemin tepkisi ölçülebilir. Aynı zamanda darboğaz tespiti ve analizinde kullanılan matematiksel ve analitik yöntemlere göre daha avantajlıdır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan güçlü sayılabilecek benzetim yapabilen programlar mevcuttur. Bu çalışmada Arena programından faydalanılmıştır.

Programın içinde farklı işlevlere sahip modüller ile deneysel bir model oluşturulur. Bağlayıcı çizgiler ile de bu modüller arası bağlantılar sağlanır. Sürece gelen varlıkların gelişleri için olasılık dağılımlarından yararlanılır.

Modelin çalışmasıyla elde edilen raporlar, bazı istatistiksel verilerin alınmasına yardımcı olur. Ortalama çıktı sayısı, kaynakların kullanım oranları, hatalı ürün sayıları gibi veriler kullanılarak sistem analizi gerçekleştirilir.

Benzetim modeli oluşturulurken sistemin doğru ve eksiksiz tanımlanması, güvenilir sonuçlar elde etmek için çok önemlidir.



Şekil 1 Simülasyon Aşamaları

Simülasyon aşamaları şekil 1’de özetlenmiştir. Böyle bir yol izlemek sistemin gerçek gerekliliklerinin ortaya çıkmasına yardımcı olacaktır. Böylece ihtiyaçlara yönelik uygunluk sağlanacaktır.

Bir simülasyon çalışması sistemin analizi ile başlar. Sistemde oluşan probleme ve amaca yönelik veri toplanır. Daha sonra bu veriler ışığında model kurulur ve bu model yazılım ortamında simüle edilir. Kurulan model istatistiksel güvenilirlik testlerine tabii tutularak verilerin doğruluğu kontrol edilir. Bu kontrol, modelin geçerliliği açısından önemlidir. Kurulan model çalıştırılır ve sonuçlar incelenerek doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Eğer sonuçlar gerçekliği yansıtmıyorsa elde edilen veriler gözden geçirilerek model baştan kurulur. Son olarak çalışma sonrası elde edilen çıktılar analiz edilerek raporlanır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uygulamanın yapıldığı firmanın faaliyet konusu; emniyet ve güvenlik sistemlerine fason imalat yapmaktır. Firma aynı zamanda enjeksiyon makinelerinde kullanılan kalıpların imalatı, tadilatı ve bakımları ile ilgilenmektedir. İş süreçleri, organizasyon müdürü tarafından yönetilmektedir. İşletme günlük 8 saat, haftada 6 gün çalışmaktadır. Firma hammaddeyi yurt içinden temin etmektedir.

Sektörün önde gelen markalarına çalışan firma, pimapen kapı ve pencere aksanları üretmektedir. Yaklaşık 60 kalem ürün çeşidi bulunan firmanın ürettiği parçalardan bazıları; barel, tüp, piston, emniyet kilidi, menteşe, ispanyolet karşılığı, göbek ve kapı koludur.

Bu çalışmada hırsız emniyet kilidi ürünü için simülasyon çalışması yapılmıştır. Şekil 2’de ürüne ve kullanım alanına ait örnek görseller verilmiştir.



Şekil 2 Emniyet Kilidi ve Kullanım Alanı

Hammadde olarak zamak-5 kullanılmaktadır. Zamak içerisinde alüminyum, çinko ve bakır bileşenlerini bulundurmaktadır. Ayrıca alüminyuma göre daha ucuz bir hammadde olduğundan tercih edilmektedir. Hammadde alımı ile başlayan sürece ait iş akışı şekil 3’de verilmiştir:



Şekil 3 Emniyet Kilidi İş Akışı

Döküm işlemi: Döküm işlemi enjeksiyon makinesi ile yapılmaktadır. 430-450 °C 'de eriyik hale gelen hammadde piston yardımıyla kalıp içerisine yüklenmekte ve basım işlemi gerçekleştirilmektedir. Her basımdan sonra kalıp açılmakta ve yarı mamül haline gelen hammadde kalıp içerisindeki iticilerle kalıp içerisinden çıkartılarak, kalıp yüzeyinin yine makine tarafından otomatik yağlanması işlemi gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda kalıp göz sayısının fazla olması ile her basımda 2 adet üst gövde ve 2 adet alt gövde elde edilir.

Tamburlama: Döküm işlemi gerçekleşen yarı mamüller 200 adetlik partiler halinde tambur makinesinin haznesine yüklenmekte ve burada tamburlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Tamburlama işlemi, döküm sırasında oluşan yolluklardan ve hava ceplerinden kurtulmak için yapılır. Hava cepleri döküm gerçekleşmeden kalıp kapandığı zaman kalıbın içerisinde kalan havayı hapsedmek için, yolluk ise eriyik hammaddenin kalıp içerisinde ilerlemesini/yürümesini sağlamak için vardır.

Ayıklama: Tambur makinesinde bir süre işlem gören parçalar tamburun haznesinden ayıklanarak kauçuk kasalar yardımıyla delik delme prosesine gönderilmektedir.

Delik Delme: Bu processte masa üstü matkaplar kullanılmaktadır. Operatör, parçaların üzerindeki vida deliklerinde döküm işleminden kaynaklanan çapakları temizlemektedir.

Boyama: Boyahane parçalar tek tek asılarak üzerlerine elektro statik toz püskürtme yöntemi ile müşteri isteklerine bağlı olarak renk seçimiyle boyama işlemi gerçekleştirilmektedir.

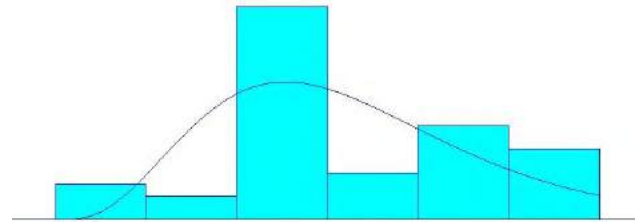
Yay ve Vida Montajı: Boyanan mamüller üzerine alt ve üst gövdeyi birleştirmek amacıyla yay ve kapakların montajı gerçekleştirilmektedir.

Paketleme: Son olarak mamüller paketlenerek sevkiyata hazır hale getirilir.

Ürünün üretim sürecindeki iş akışı belirlendikten sonra, mevcut yerleşim düzeni, zaman etüdü çalışmaları yapılarak sistem analizi sağlanmıştır. Yapılan her işlem için operasyon süreleri üretim şefi önderliğinde, operatörlerin de görüşleri alınarak toplanmıştır. Operasyonların istatistiksel dağılımlarının belirlenmesi amacıyla toplanan veriler Arena programının input analyzer komutu ile değerlendirilmiştir. Tablo 1'de döküm işlemine ait işlem süreleri ve şekil 4'deki dağılım grafiği örnek olarak verilmiştir.

Tablo 1. Döküm prosesi işlem süreleri ve uygun matematiksel dağılım

Proses	İşlem süreleri (saniye)	Matematiksel Dağılım
Döküm	14.10, 14.30, 14.25, 14.55, 14.18, 15.20, 15.33, 14.17, 14.48, 14.50, 14.52, 15.12, 15.14, 14.48, 15.10, 14.49, 14.52, 14.53, 15.40, 15.32, 14.48, 14.33, 14.52, 15.10, 14.56, 14.40, 15.50, 15.38, 15.39, 15.10, 14.00, 14.33, 14.48, 13.59, 13.55, 15.25, 14.49, 14.56	GAMM (0.288, 4.45)

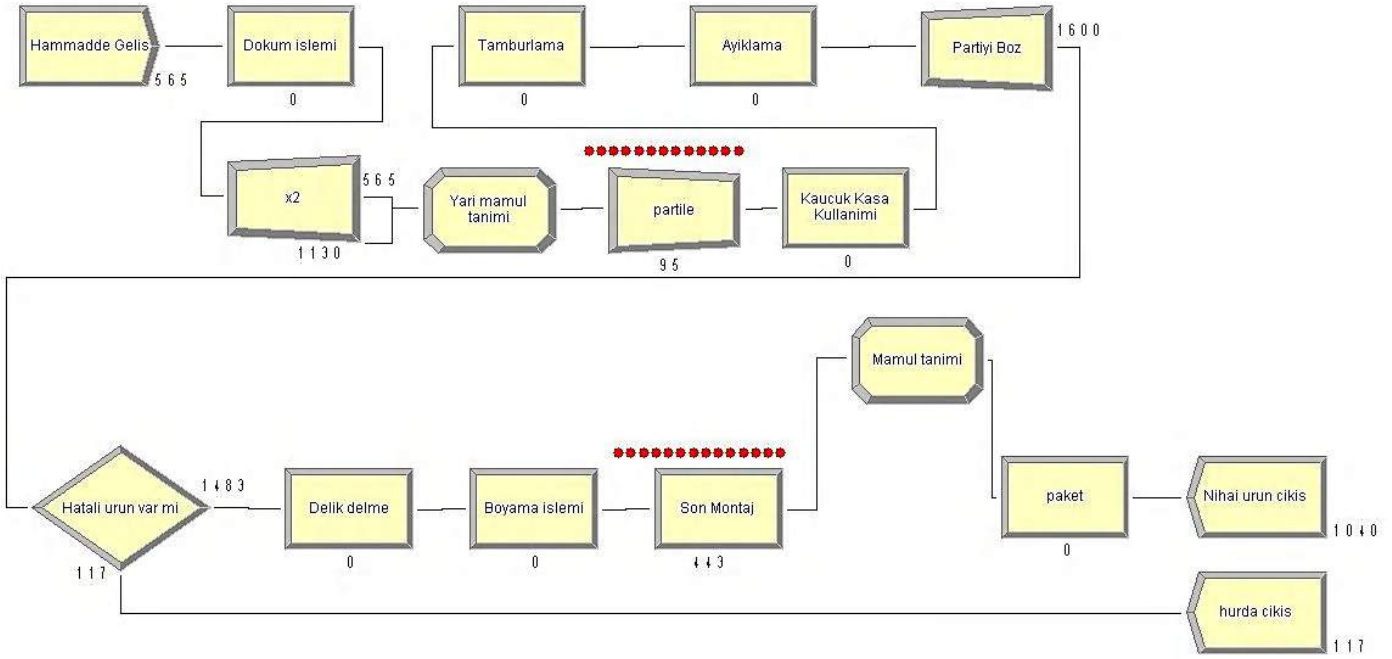


Şekil 4. Döküm Prosesine Ait Sürelerin Dağılım Grafiği

Hammadde alımı, hammaddenin azalarak tekrar istekte bulunma seviyesidir. Ortalama her 1 dakika'da bir poisson dağılımına göre sisteme hammadde girişi sağlanmaktadır. Buna göre gerçekleşen olay sayısı ortalaması Poisson dağılımına uyuyorsa, iki olayın gerçekleşmesi arasında geçen süre ortalamalı Üstel (Exponential) dağılıma uyar. Diğer prosesler için belirlenen uygun dağılımlar Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Üretim Proseslerine Uygun Matematiksel Dağılımlar

Proses	Dağılım Türü	Matematiksel İfade (saniye)
Döküm	GAMMA	13.4+GAMM(0.288, 4.45)
Tamburlama	-	360
Ayıklama	-	320
Delik delme	BETA	4.5+13*BETA(1.17, 1.21)
Boyama	-	120
Montaj	ERLANG	25.5+ERLA(14.6, 2)
Paketleme	BETA	11.5+37*BETA(1.19, 1.54)
Kutulama	TRİGULAR	TRIA (209, 210, 213)



Şekil 5. Benzetim Modeli

Toplanan veriler doğrultusunda mevcut sistemin animasyon grafiği şekil 5’de verilmiştir. Şekil üzerindeki kırmızı noktalar darboğaz oluşan prosesleri ifade etmektedir. Proseslerin yanında bulunan rakamlar ise o prosese ait süreç içi stokları göstermektedir.

Modelde 7 ana iş istasyonu ve 1 adet “kauçuk kasa kullanımı” yardımcı prosesi bulunmaktadır.

- Hammaddenin sisteme gelişi ile başlayan süreç, döküm işlemi ile devam etmektedir. Döküm işleminde, kaynak olarak enjeksiyon makinesi kullanılmaktadır.

Döküm işleminde kullanılan makine kalıbının tasarımı gereği her bir baskıda 2 adet çıktı elde edilmektedir. Bu nedenle gerçekleşen her bir işlem sonucu parçaların birebir kopyasını sisteme tanıtmak amacıyla “x2” adındaki Separate modülü kullanılmıştır. Aynı zamanda Assign modülü ile de yarı mamül olduğu sisteme tanıtılmıştır.

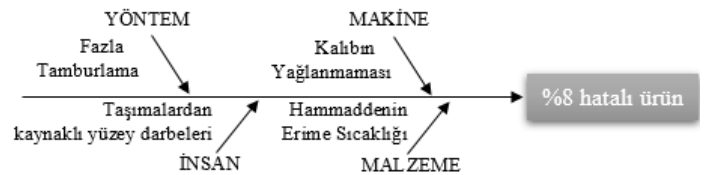
- Daha sonra Batch modülü ile yarı mamüllerden 200 adetlik partiler oluşturularak, kauçuk kasalar yardımıyla tamburlama makinesine taşınmaktadır. Kaynak olarak eleman görevlendirilmiştir. Partileme miktarı ürün boyutlarına bağlı olarak tambur makinesinin haznesine göre düzenlenmektedir.
- Burada bir süre işlem gören parçalar ayıklanarak hatalı ürün kontrolünden geçirilmektedir. Üretimden elde edilen verilerin analizi sonucu %8 hatalı yarı mamül ayıklanmakta ve bu yarı mamüller daha sonrasında eritilerek tekrar sisteme girişinin sağlanması için hurda çıkışına gönderilmektedir.
- Delik delme prosesinde kaynak olarak 1 adet masa üstü matkap ve 1 işçi çalışmaktadır.
- Boyahane de boyama işlemi gerçekleşen parçalar üst ve alt gövdelerin montajı için son montaj prosesine gönderilmektedir. Son montaj prosesinde kaynak olarak 1 adet şarjlı el matkabı ve 1 işçi çalışmaktadır.

- Son montaj işleminden çıkan parçalar, Assign modülü ile varlık tipi mamül olarak atanmıştır.
- Son olarak mamüller paketlenerek sevkiyata hazır hale getirilir.



Şekil 6 Toplam çıktı miktarını gösteren rapor

Tamburlama işleminden sonra yarı mamüllerin %8 ‘i hurdaya ayıklanmaktadır. Hurda olarak sistemden çıkan bu ürünler daha sonra tekrar eritilmek üzere makinenin haznesine atılmaktadır. Her ne kadar ürünlerin hammadde olarak geri dönüşü sağlansa da, üretimde harcanan enerji ve iş gücü dolayısıyla bu hataların azaltılması gerekmektedir. Neden-sonuç (balık kılıcı) diyagramı, herhangi bir olası nedeni listelemek için etkili ve basit bir araçtır. Bu nedenle üretim şefi önderliğinde, sistem incelenerek beyin fırtınası yapılmış ve hatalara sebep olabilecek alt nedenler balık kılıcı diyagramı ile belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7 Hatalı ürün balık kılıcı diyagramı

Sistem “Yöntem” bazında incelendiğinde fazla tamburlama yapılmasının ürünün geometrik yapısına zarar verdiği gözlemlenmiştir. Tamburlama işleminin, standart süresinden

fazla yapılmasına izin verilmemesi için bu makine için andon sistemler geliştirilebilmesi düşünülmüştür.

Sistem "Makine" bazında incelendiğinde kalıp yüzeyinin yeteri kadar yağlanmaması nedeniyle ürünlerin kalıptan çıkarken zorlandığı ve bu yüzden hurda çıkışına gönderilebileceği gözlenmiştir. Burada kalıbın yağlanma işleminin daha sıklıkla yapılması önerilmiştir.

Sistem "İnsan" bazında incelendiğinde taşımaldan kaynaklı, ürünler üzerinde darbe ve çiziklerin oluşabileceği gözlemlenmiştir. Bu durumu önlemek amacıyla döküm ve tambur prosesleri arasında kauçuk kasalar kullanılmaktadır. Kauçuk kasaların tüm prosesler arası kullanımının zorunlu hale getirilmesiyle ürünlerin daha korunaklı taşınabileceği ve böylelikle hataların azaltılabileceği düşünülmüştür.

Sistem "Malzeme" bazında incelendiğinde eriyik hammaddenin, yolluk kısmından kalıbın içerisine yüklenmesinde tam dolum gerçekleşmemesi sonucu hatalı çıktılar elde edilebilmektedir. Bu durumun en büyük nedenlerinden biri hammaddenin erime sıcaklığı noktasına gelmeden döküm işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır. Buna engel olmak için hammaddenin eridiği ocak olan güzinenin sıcaklığını kontrol etmek gerekmektedir.

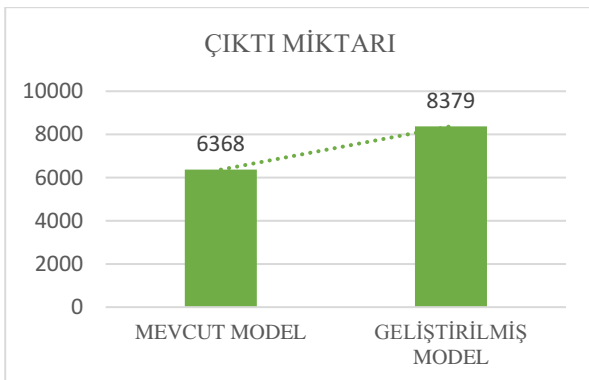
Sistemde ki darboğazlar incelendiğinde partileme prosesi üzerinde oluşan kuyruk 200 adetlik hacmin dolması için mecburi beklenen sıra, son montaj prosesinde oluşan kuyruk ise çözüm geliştirilmesi gereken darboğaz olarak görülmektedir. Son montaj işleminde görülen kuyruk, kapasite yetersizliği ya da ürün montajında karşılaşılan bir problemten kaynaklı olabilir.

Sistem incelendiğinde ürün montajında herhangi bir problem tespit edilmemiş olup ikinci ihtimal üzerinde durulmuş ve son montaj prosesine ait kapasite iki katına çıkarılmıştır. Şekil 8'de geliştirilmiş sistem çıktı miktarının gösterildiği Arena dan elde edilen rapor verilmiştir.



Şekil 8 İyileştirilmiş sistem çıktı sayısı raporu

Rapora göre yeni durumda çıktı miktarı 8379 adet olmuş ve bir önceki modele göre çıktı sayısında %31,58 artış sağlanmıştır. Üretim sayısı arttığı için, müşteriye siparişleri zamanında teslim etmek kolaylaşmıştır. Şekil 9'de mevcut model ile geliştirilmiş modele ait çıktı miktarları verilmiştir.



Şekil 9 Mevcut model-geliştirilmiş model çıktı miktarları

Bununla birlikte yeni işçi alımı ve yeni kaynak alımına ait yatırım maliyetleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$\text{Aylık mesai ücreti} = 3.250,0 \text{ tl}$$

$$\text{İşe alım maliyeti} = 4.000,0 \text{ tl}$$

$$\text{Şarjlı matkap maliyeti} = 2.800,0 \text{ tl}$$

Firmanın gizlilik hakları gereği ürün maliyetine bu kısımda yer verilmemiş ortalama bir maliyet gösterilmiştir. Emniyet kilidi ürününe ait ;

$$\text{Aylık ortalama satış geliri} = 25.200,0 \text{ tl}$$

$$\text{Sabit Giderler (elektrik, kira, vb.)} = 11.000,0 \text{ tl}$$

$$\text{Değişken Giderler (hammadde fiyatı, işçilik, vb.)} = 5.000,0 \text{ tl}$$

Buradan,

$$\text{Aylık kazanç} = 25.200,0 - 11.000,0 - 5.000,0 = 9.200,0 \text{ tl olur.}$$

Kapasite arttırımı ile katlanılacak maliyetler toplamı $3.250,0 + 4.000,0 + 2.800,0 = 10.050,0 \text{ tl}$ olmuş ve firma, sisteme kazandırılan ürünlerden elde edilecek gelir ile yatırımını 1 ayda amorti ederek daha hızlı çalışma kapasitesi yakalayabilecektir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, pimapen kapı ve pencere sistemlerine üretim yapan bir işletmenin hırsız emniyet kilidi üretim hattındaki gecikmeleri ve beklemleri tespit edip, gidermek amaçlı bir modelleme çalışması yapılmıştır. İlk olarak sistem analizi yapılmış, proseslerin süreleri uzman görüşleri alınarak incelenmiş ve değer yaratmayan işlere neden olabilecek aksiyonlar incelenmiştir. Daha sonra mevcut sistem Arena 14.0 yazılımında modellenmiştir.

Modelin çalıştırılması sonucu 6368 adet çıktı elde edilmiştir. Bu ürünlerin %8 i geri dönüştürülmek üzere sistemden çıkmaktadır. Bu ürünlerin üretim akışında hatalı ürün olarak ayrıştırılmasına neden olabilecek alt nedenler balık kılıcı diyagramı kullanılarak tespit edilip, üzerine tartışılarak bu hataları engellemek amaçlı bazı aksiyonlar belirlenmiştir.

Son montaj prosesinde oluşan uzun kuyrukları ortadan kaldırmak amaçlı kapasite arttırımı yapılarak çıktı sayısında %31,58 artış sağlanmıştır. Yatırım yapmadan önce yatırım maliyeti, üretim miktarı oranı ve yapılacak yatırım sonucu karın artıp artmayacağını hesaplanması gerekmektedir. Burada bir kez daha simülasyon yönteminin önemi vurgulanmak istenmiştir. Yapılan yatırım maliyetinin kısa bir sürede amorti edilebileceği hesaplanmıştır.

Çalışmanın sonucunda geliştirilen model ile elde edilen çıktı sayısındaki artışın firmanın sektörde rekabet gücünü artırması ve sipariş teslim sürelerini kısaltarak diğer ürün üretimleri için de işletmeye kazanç sağlaması beklenmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen işletme üretim şefine ve uygulamanın yapıldığı işletme sahibine ve çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Popovics, G., Pfeiffer, A., Monostori, L., Generic data structure and validation methodology for simulation of manufacturing systems, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Issue 12: Economic Development And Wealth Through Globally, Volume 29, Page:1272-1286, 2016.
- [2] Ünal, C., Bilget, S., Examination of lean manufacturing systems by simulation technique in apparel industry, *The Journal of The Textile Institute*, 2020.
- [3] Neeraj, R., R., Nithin, R., Niranjhan, P., Sumesh, A., Thenarasu, M., Modelling And Simulation of Discrete Manufacturing Industry, *Materialstoday: Proceedings*, Volume 5, Issue 11, Part 3, Pages : 24971 – 24983, 2018
- [4] Kocaköz, Y., LPG Silindir İmalat Hattının Simülasyon İle Yeniden Düzenlenmesi, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [5] Arslankaya, S., Duran, E., Jeneratör Üreten Bir Firmada Kabin Kaynak Hattının Simülasyon İle İyileştirme Çalışması, Sakarya Üniversitesi, SETSCI Conference Proceedings 4 (6), S. 61-72, 2019 .
- [6] Sütçü, A., Karşıyaka, O., Burhan, M., E., Bir Mobilya Üretim Tesisinde İş Analizi ve Benzetim Uygulaması İle Süreç Verimliliğinin Artırılması, *Araştırma Makalesi*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 17, S. 45-47, Aralık 2019 [Google Akademik]
- [7] Sakcalı, A., Burhan, M., E., Saraç, M., S., Bir Mermer Ocağında Simülasyon Destekli Performans Analizi, *Proceedings of 6th International Congress of Mining Machinery & Technologies*, 2017
- [8] Yelkenci, S., Tunalı, S., Eşanjör Üretim Hattında Simülasyon Kullanılarak Darboğaz İstasyonların Belirlenmesi, *Atatürk Ü. İİBF Dergisi*, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 2011
- [9] Krishnan, S., Dev, S., Suresh, R., Sumesh, A., Rameshkumar, K., Bottleneck Identification In A Tyre Manufacturing Plant Using Simulation Analysis And Productivity Improvement, 2018
- [10] Goldsman D., Introduction to simulation. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, 26-37, 2007



Classification of Type 2 Diabetes Using Machine Learning Techniques

Ziyet Pamuk¹, Ceren Kaya^{2*}

¹ Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3792-2183), ziynet.pamuk@beun.edu.tr

^{2*} Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1970-2833), ceren.kaya@beun.edu.tr, cmkaya@hotmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014878)

ATIF/REFERENCE: Pamuk, Z., & Kaya, C. (2021). Classification of Type 2 Diabetes Using Machine Learning Techniques. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1265-1268.

Abstract

Diabetes is a lifelong chronic disease defined by disorders in protein, fat and carbohydrate metabolism as a result of complete or partial deficiency of insulin hormone secreted from the pancreas. This disease is caused by the absence or deficiency of insulin hormone in the body. Normal metabolism also breaks down in the intestines to convert nutrients into glucose. Then, when this glucose passes through the intestines into the blood, the level of sugar in the blood rises. In healthy people, glucose in the blood is transported to cells with the help of insulin hormone, which is secreted from the pancreas. Because sugar can not be transported to the cell if there is a deficiency or impaired effect of insulin hormone in the body, glucose increases in the blood and develops an increase in blood sugar (hyperglycemia), called diabetes. Early diagnosis of diseases that will occur in insulin, which is vital for the human body, is of great importance. The aim of this study is to use machine learning techniques to diagnose Type 2 diabetes using medical laboratory data. As machine learning techniques, J48, Random Forest, Random Tree and IBk algorithms in the WEKA programme were used. In this study, 400 patient data were investigated. 6 laboratory tests such as age, gender, glucose, HbA1C, HGB and urine were selected as input data. All four algorithms used were successfully trained. The highest accuracy value was found 96.97% in Random Forest algorithm, with recall and F-measure values of 98.47% and 96.24%, respectively.

Keywords: Type 2 Diabetes, WEKA, Machine Learning, J48, Random Forest, Random Tree, IBk Algorithms.

Tip 2 Diyabetin Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Sınıflandırılması

Öz

Diyabet, pankreastan salgılanan insülin hormonunun tam veya kısmi eksikliği sonucu protein, yağ ve karbonhidrat metabolizmasındaki bozukluklarla tanımlanan, ömür boyu süren kronik bir hastalıktır. Bu hastalığa vücutta insülin hormonunun yokluğu veya eksikliği neden olmaktadır. Normal metabolizma ayrıca besinleri glikoza dönüştürmek için bağırsaklarda parçalanır. Daha sonra bu glikoz bağırsaklardan kana geçtiğinde kandaki şeker seviyesi yükselir. Sağlıklı insanlarda kandaki glikoz, pankreastan salgılanan insülin hormonu yardımıyla hücrelere taşınır. Vücutta insülin hormonunun eksikliği veya etkisinin bozulması durumunda şeker hücreye taşınmadığından, kanda glikoz yükselir ve diyabet adı verilen kan şekerinde yükselme (hiperglisemi) gelişir. İnsan vücudu için hayati önem taşıyan insülinde oluşacak hastalıkların erken teşhisi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, tıbbi laboratuvar verilerini kullanarak Tip 2 diyabeti teşhis etmek için makine öğrenmesi tekniklerini kullanmaktır. Makine öğrenmesi teknikleri olarak WEKA programında yer alan J48, Rastgele Orman, Rastgele Ağaç ve IBk algoritmaları kullanılmıştır. Bu çalışmada 400 hasta verisi incelenmiştir. Girdi verisi olarak yaş, cinsiyet, glikoz, HbA1C, HGB ve idrar gibi 6 laboratuvar testi seçilmiştir. Kullanılan dört algoritmanın tamamı başarıyla eğitildi. En yüksek doğruluk değeri %96.97 oranında Rastgele Orman algoritmasında bulunurken, duyarlılık ve F-ölçüsü değerleri sırasıyla %98.47 ve %96.24 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tip 2 Diyabet, WEKA, Makine Öğrenmesi, J48, Rastgele Orman, Rastgele Ağaç, IBk Algoritmaları.

* Corresponding Author: ceren.kaya@beun.edu.tr, cmkaya@hotmail.com

1. Introduction

Diabetes is a disease that develops as a result of the deficiency, ineffectiveness or insufficient production of insulin hormone in the body, as well as the chronic complications that disrupt the carbohydrate metabolism and increase the glucose level in the blood. Diabetes, which is seen with symptoms such as intense thirst, intense hunger, and frequent urination, causes many complications in the patient unless treated. If timely measures are not taken and blood sugar is not controlled, it has a negative effect especially on the veins. The toxic effects of sugar can cause permanent damage to many organs and tissues such as eyes, kidneys, nerve endings, heart, brain, and leg vessels (Özlüer Başer et al., 2021).

According to the current data of World Health Organization (WHO), approximately 422 million people in the world, mostly seen in low and middle-income countries, have diabetes, and the cause of 1.6 million deaths each year is directly related to diabetes. For this reason, diabetes is recognized as one of the leading causes of death in the world, and both the number of cases and its prevalence are increasing dramatically (Özlüer Başer et al., 2021).

Diabetes is classified into 4 groups as Type 1, Type 2, Gestational diabetes (GDM) and other specific types. Type 1 diabetes occurs acutely, mostly in children and adolescents, with insulin deficiency due to pancreatic beta cell destruction. Insulin resistance and insulin secretion disorder are prominent in type 2 diabetes. Type 2 diabetes makes up 90-95% of all diabetics. Gestational diabetes defines diabetes that occurs during pregnancy, while other specific types describe high blood sugar that occurs for many reasons that affect the pancreas (Coşansu, 2015).

Such problems in the body can lead to different diseases in other parts of the body. For this reason, early diagnosis in diabetes is vital to avoid many damages. In the study by Güler and Übeyli, multilayer perceptron neural networks trained with four different algorithms were used in the diagnosis of diabetes and they have determined as quick propagation algorithm is the most successful multilayer perceptron training algorithm in the diagnosis of diabetes (Güler & Übeyli, 2006).

Ahmed developed a new estimation method using data mining techniques according to his study. By developing this estimation method, he aimed to divide diabetic patients into two classes as controlled ($HbA1C < 7\%$) and uncontrolled ($HbA1C > 7\%$). Classification is based on HbA1C measurement. According to results of WEKA Tool experiments, the Logistic algorithm was chosen as the best algorithm with an accuracy rate of 74.8% (Ahmed, 2016).

In another study by Ahmed, a new model was developed to classify diabetic type 2 treatment plans such as insulin, medication, and diet. These treatment plans can help diabetes control blood Glucose level. Since HbA1c is less than 7 in treatment plans, it was considered under control plans. Three categories were chosen for treatment plans, such as insulin, medication, and diet as classification labels. After extensive experiments among data mining algorithms, J48 algorithm was chosen to develop the proposed model based on the accuracy results. The model was implemented using the WEKA application. According to the results obtained, accuracy of the model was found to be 70.8% (Ahmed, 2016).

In the study by Kaya et al., the features of horizontal and vertical Video-Oculography (VOG) signals taken from right and left eyes were used to classify early and late stages of diabetic retinopathy disease. Statistical features obtained from discrete wavelet transform and C4.5 decision tree were applied as inputs to artificial neural networks. It has been concluded that features selected by the C4.5 decision tree algorithm (96.87%) provide better classification performance than features extracted by the discrete wavelet transform (93.75%) (Kaya et al., 2017).

In another study by Bozkurt et al., Pima Indian diabetes dataset was categorized with 8 different classifiers. The data was taken from public website of the University of California Irvine Machine Learning Repository (UCI). Probabilistic neural network (PNN), learning vector quantization (LVQ), feedforward networks (FFN), cascade-forward networks (CFN), distributed time delay networks (DTDN), time delay networks (TDN), the artificial immune system (AIS), and the Gini decision tree algorithms were used as classifiers. When all classifiers in this study were compared, the best accuracy value was 76.00% with DTDN, the best sensitivity value was 63.33%, and the best specificity value was 88.75% with DTDN. The second best accuracy and specificity values after DTDN were obtained with the LVQ network. The second best performance for the sensitivity value was provided by CFN. Since accurate identification of patients is associated with susceptibility, it was concluded that practically, it is more appropriate to use the PNN network that shows the best sensitivity performance (Bozkurt et al., 2014).

The main purpose of this study is to use machine learning techniques that will help experts to diagnose Type 2 diabetes in adults, using only medical laboratory data. The WEKA programme tool was preferred as a machine learning technique in this study.

2. Material and Method

2.1. Type 2 Diabetes Dataset

Information was obtained from the physicians working in Ankara Oncology Hospital about which parameters are required to diagnose type 2 diabetes. In line with these parameters, the necessary ethics committee forms of the hospital were filled and an application was made to obtain related patient data. The patient data used in this study were collected with the approval of Ankara Oncology Hospital Clinical Research Ethics Committee.

Data from 400 patients, 200 of whom were healthy and 200 of whom had type 2 diabetes, were used in this study. Six parameters including age, gender, glucose, glycosylated hemoglobin test (HbA1C), hemoglobin (HGB) and urine were used as input variables of machine learning algorithms. 33% of the total data in the data set is separated as test data. (Training data: 268 and Test data: 132).

2.2. Machine Learning Algorithms

Decision trees are widely used because they have a tree-shaped decision structure, which is learned by induction from a data set of known classes, is easy to interpret, low in cost, and can be easily integrated with database systems (Uzun et al., 2019). J48, Random Forest, Random Tree and IBk decision tree algorithms were used in this study.

J48 algorithm aims to optimize decision tree by utilizing the entropy value of variable and Shannon's Information Theory.

Entropy is a measure of the uncertainty of a random variable. Information gain is a measure of how much the uncertainty in the target variable changes when data is partitioned using a predictor variable (Taşçı & Şamlı, 2020).

In Random Forest algorithm, a forest is determined by creating more than one decision tree. The results of each tree are eliminated by voting or the average is taken to reach the solution of problem. The Random Forest algorithm emerged from the blending of the bagging and Random Subspace methods. As in the bagging method, the data set is divided into subsets (Sarica et al., 2017).

Random Tree algorithm is a type of supervised classifiers. It has an ensemble learning algorithm that produces many individual learners. It uses a bagging idea to generate a random dataset for creating a decision tree (Kalmegh, 2015).

K-Nearest Neighbour (KNN) algorithm is a classification process made by considering the closeness of observations that do not have label information. In the implementation phase of this algorithm, the system is first trained using the training data. The training set contains data with classification information. After the training set is given, a k value is determined by the user. Methods such as Euclidean distance, Jaccard Distance, Simple Matching Distance, Manhattan Distance are used to measure the closeness of data to each other. KNN algorithm is referred as IBk algorithm under the Lazy methodology in Weka tool (Timuçin & Düzdar Argun, 2021).

2.3. Classification Performance Metrics

Seven performance metrics were used for the classification performances of machine learning algorithms. These are:

$$Accuracy = \frac{TN+TP}{TN+TP+FN+FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (3)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

$$F - Measure = 2 \times \left(\frac{Precision \times Recall}{Precision+Recall} \right) \quad (5)$$

$$MCC = \frac{(TP \times TN) - (FP \times FN)}{\sqrt{(TP+FP) \times (TP+FN) \times (TN+FP) \times (TN+FN)}} \quad (6)$$

In Equations (1) – (6); “True Positive (TP)” is the correctly predicted positive class value, “False Negative (FN)” is the incorrectly predicted negative class value, “False Positive (FP)” is the incorrectly predicted positive class value, and “True Negative (TN)” represents the correctly predicted negative class value, respectively in confusion matrix (Kaya et al., 2018). Graphical representation of the relationship between TP and FP is Receiver Operating Characteristics Curve (ROC). As the area under the ROC curve (ROC AUC) value approaches 1, the diagnostic value increases.

3. Results and Discussion

The reference values of six input parameters, which vary according to age and gender, are given in Table 1.

Table 1. Input data and reference ranges

Variables	Age	Gender	Reference Range
Age	-	-	-
Gender	-	-	-
HbA1C	Adult	Female / Male	3.5-5.6 mmol/mol
Glucose	Adult	Female / Male	100-126 mg/dL
HGB	Adult	Female / Male	12.5-15.5 gr/dL / 13.5-17.5 gr/dL
Urine	Adult	Female / Male	Positive / Negative

The distribution of patient data subjected to testing and training processes in machine learning algorithms used are shown in Table 2.

Table 2. Distribution of training and test datasets

	Train	Test
Healthy	66	66
Type 2 Diabetes Patient	134	134

In this study, Type 2 diabetes data set was classified using J48, Random Forest, Random Tree and IBk algorithms in the WEKA tool. In the testing phase of all algorithms, the cross-validation method was applied as "10-fold".

The performance metrics of accuracy, specificity, ROC AUC, Matthews Correlation Coefficient (MCC), Recall, Precision and F-Measure obtained from four different algorithms used are presented in detail in Table 3.

Table 3. Performance metrics of all algorithms

	J48	Random Forest	Random Tree	IBK
Accuracy	0,9545	0,9697	0,9091	0,8788
Recall	0,9696	0,9847	0,9091	0,7727
Specificity	0,9394	0,9394	0,9091	0,9848
ROC AUC	0,9366	0,9840	0,9091	0,9099
MCC	0,9095	0,9398	0,8182	0,7754
Precision	0,9412	0,9412	0,9091	0,9808
F-Measure	0,9552	0,9624	0,9091	0,8644

According to Table 3 given above, it is seen that the average accuracy values of all algorithms are above 87%. Random Forest algorithm has the highest accuracy result with 96.97%. The closest follower of this algorithm is the J48 algorithm, and it gives the second best result with 95.45%. Random Tree algorithm comes in the third place with 90.91% accuracy values. The IBk algorithm, on the other hand, ranks fourth with an accuracy rate of 87.88%.

While all algorithms are evaluated according to the recall criterion, it is observed that the algorithm giving the best result is the Random Forest algorithm with a value of 98.47%. J48 is in the second place with 96.96%, and Random Tree algorithm is in the third place with a value of 90.91%.

When the results are observed in terms of specificity, IBk is in the first place with the value of 98.48%, J48 and Random Forest

are in the second place with the value of 93.94%, and Random Tree algorithm is in the third place with the value of 90.91%.

Looking at the ROC area values, it is seen that the best algorithm is Random Forest with 98.4% AUC value. J48 is in the second place with 93.66% AUC value and IBk algorithm is in third place with 90.99% AUC value.

4. Conclusion

In order to increase the performance of study, different data analysis techniques and other expert systems can be studied. Accuracy of the study can be increased by using more data and input parameters. Except in cases where there are no severe diabetes symptoms, the diagnosis can be confirmed the next day with the same or a different method. Success evaluations can be made by using different machine learning tools and applying different algorithms. In near future, where machine learning is expected to be used more actively in the field of health, new algorithms can be developed and used for needs.

5. Acknowledge

We would also like to thank Dilara Bilim, Güllü Çıtak and Meryem Ağca for valuable contribution to the study.

References

- Ahmed, T. M. (2016). Using data mining to develop model for classifying diabetic patient control level based on historical medical records. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 87(2), 316-323.
- Ahmed, T. M. (2016). Developing a predicted model for diabetes type 2 treatment plans by using data mining. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 90(2), 181-187.
- Bozkurt, M. R., Yurtay, N., Yılmaz, Z., & Sertkaya, C. (2014). Comparison of different methods for determining diabetes. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 22, 1044-1055.
- Coşansu, G. (2015). Diyabet: küresel bir salgın hastalık. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 31(Ek Sayı), 1-6.
- Güler, İ., & Übeyli, E. (2006). Çok katmanlı perseptron sinir ağları ile diyabet hastalığının teşhisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(2), 319-326.
- Kalmegh, S. (2015). Analysis of weka data mining algorithm reptime, simple cart and randomtreen for classification of indian news. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(2), 438-446.
- Kaya, C., ErKaymaz, O., Ayar, O., & Özer, M. (2017). Classification of diabetic retinopathy disease from Video-Oculography (VOG) signals with feature selection based on C4.5 decision tree. *Proceedings of 2017 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO)*, 1-4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8238093>.
- Kaya, C., ErKaymaz, O., Ayar, O., & Özer, M. (2018). Impact of hybrid neural network on the early diagnosis of diabetic retinopathy disease from video-oculography signals. *Chaos, Solitons & Fractals*, 114, 164-174.
- Özlüer Başer, B., Yangın, M., & Sarıdaş, E. (2021). Makine öğrenmesi teknikleriyle diyabet hastalığının sınıflandırılması. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 25(1), 112-120.

- Sarica, A., Ceresa, A., & Quattrone, A. (2017). Random forest algorithm for the classification of neuroimaging data in alzheimer's disease: a systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9(329), 1-12.
- Taşcı, M. E., & Şamlı, R. (2020). Veri madenciliği ile kalp hastalığı teşhisi. *European Journal of Science and Technology, (Special Issue)*, 88-95.
- Timuçin, T., & Düzdar Argun, İ. (2021). Initial seed value effectiveness on performances of data mining algorithms. *Düzce University Journal of Science and Technology*, 9, 555-567.
- Uzun, R., İşler, Y., & Toksan, M. (2019). WEKA yazılım paketinin siğil tedavi yöntemlerinin başarısının tahmininde kullanımı. *Düzce University Journal of Science and Technology*, 7, 699-708.



Influence of Mass Per Unit Area on the Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners (GCLs)

Fatih Polat^{1*}, Tuğçe Özdamar Kul², Ali Hakan Ören³

^{1*} Dokuz Eylül University, Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5652-0433), polat.fatih@gmail.com

² Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3016-6477), tugce.ozdamar@deu.edu.tr

³ Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Izmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3024-3084), ali.oren@deu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013103)

ATIF/REFERENCE: Polat, F., Özdamar Kul, T., Ören, A.H. (2021). Influence of Mass Per Unit Area on the Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1269-1273.

Abstract

In the content of this study, barrier performance of geosynthetic clay liners (GCLs) in terms of mass per unit area of bentonite (MPUA) was investigated. For this purpose, a Na-GCL with MPUAs of 3.0 and 5.0 kg/m² were tested. Hydraulic conductivity tests were conducted with deionized water (DIW) and calcium chloride solutions prepared with various concentrations (i.e., 15 mM and 30 mM CaCl₂). The free swell characteristic of bentonite in GCL was also determined. The swell index results showed that increase in the CaCl₂ concentration results to a decrease in the swell index values. That is, swell indices were 23, 13, and 10 mL/2g with DIW, 15 mM, and 30 mM CaCl₂, respectively. The influence of MPUA on the hydraulic performance of Na-GCL was not observed with DIW. The hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 3.0 and 5.0 kg/m² was 4.6×10⁻¹¹ and 2.1×10⁻¹¹ m/s, respectively. However, MPUA had a significant effect on the hydraulic conductivity when CaCl₂ solutions were used as the permeant. Increase in MPUA caused to a decrease in the hydraulic conductivity with CaCl₂ solutions. It was found with 30 mM CaCl₂ solution that the hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 5.0 kg/m² was almost 16 times lower than that of GCL with MPUA of 3.0 kg/m² (8.3×10⁻⁹ vs 1.3×10⁻⁷ m/s).

Keywords: Hydraulic conductivity, geosynthetic clay liners, mass per unit area, swell index, calcium chloride.

Birim Alan Başına Bentonit Kütlesinin Geosentetik Kil Örtülerin (GKÖ'ler) Hidrolik İletkenliği Üzerine Etkisi

Öz

Bu çalışma kapsamında, geosentetik kil örtülerin (GKÖ'ler) bariyer performansı birim alan başına bentonite kütlesi (BABBK) açısından araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda BABBK'si 3.0 ve 5.0 kg/m² olan Na-GKÖ'ler test edilmiştir. Hidrolik iletkenlik testlerinde deiyonize su (DS) ve farklı konsantrasyonlarda kalsiyum klörür (15 mM ve 30 mM CaCl₂) çözeltileri kullanılmıştır. Ayrıca GKÖ içerisindeki bentonitin serbest şişme karakteristiklikleri de belirlenmiştir. Şişme indeks deney sonuçları, CaCl₂ konsantrasyonundaki artışın şişme indeks değerlerinde azalmaya sebep olduğunu göstermiştir. Yani şişme indeksleri DS, 15 mM ve 30 mM CaCl₂ ile sırasıyla 23, 13 ve 10 mL/2g olarak elde edilmiştir. BABBK'nin Na-GKÖ'nün hidrolik performansı üzerindeki etkisi DS ile gözlenememiştir. GKÖ'nün 3.0 ve 5.0 kg/m² BABBK olan GKÖ'lerin DS ile hidrolik iletkenlikleri sırasıyla 4.6×10⁻¹¹ ve 2.1×10⁻¹¹ m/s olarak elde edilmiştir. Ancak süzdürme sıvısı olarak CaCl₂ çözeltileri kullanılması hidrolik iletkenlik üzerinde önemli bir etki yaratmıştır. CaCl₂ çözeltileri ile yapılan deneylerde BABBK'deki artış hidrolik iletkenlikte azalmalara neden olmuştur. 30 mM CaCl₂ çözeltisinde 5.0 kg/m² BABBK'ye sahip GKÖ'nün hidrolik iletkenliği 3.0 kg/m² BABBK'ye sahip GKÖ'nün hidrolik iletkenliğinden 16 kat daha düşük olduğu bulunmuştur (8.3×10⁻⁹ vs 1.3×10⁻⁷ m/s).

Anahtar Kelimeler: Hidrolik iletkenlik, geosentetik kil örtüler, birim alan başına bentonite kütlesi, şişme indisi, kalsiyum klörür.

* Corresponding Author: polat.fatih@gmail.com

1. Introduction

Geosynthetic clay liners (GCLs) are composite materials manufactured with geotextile and bentonite by needle punching, stitch or adhesive bonding (Koerner, 2005). Due to their low hydraulic conductivity and high swelling potential, sodium bentonite (Na-Bentonite) is used in GCLs when compared to other clays (Shackelford et al., 2000).

The barrier performance of GCLs are mostly evaluated with the laboratory hydraulic conductivity tests. Different testing conditions such as prehydration, permeant type and concentration, effective stress etc. can be simulated in the laboratory (Katsumi et al., 2008; Kolstad et al., 2004; Petrov et al., 1997; Shackelford et al., 2000).

Lee et al., 2005 investigated the index properties of two sodium bentonites which were taken from the GCLs. Then, they correlated index properties with the hydraulic conductivity of GCLs. DIW and CaCl_2 solutions were used as the permeant in the hydraulic conductivity tests in their study. According to the experimental results, the authors concluded that increase in the CaCl_2 concentration resulted to an increase in the hydraulic conductivity of GCLs. The reason of this increase during permeation was attributed to the cation exchange that took place between Na^+ present in bentonite and Ca^{2+} present in permeant. That is, Na^+ ions were exposed to chemical attacks of Ca^{2+} during the tests which result in cation replacement in the exchangeable cation sites of bentonite.

Lee and Shackelford., 2005 also investigated the impact of bentonite quality on the hydraulic conductivity of GCLs. They conducted hydraulic conductivity tests on GCLs with DIW and CaCl_2 solutions with various concentrations. In this study, it is revealed that the hydraulic conductivity increases with an increase in the CaCl_2 concentration.

Rowe et al., 2017 carried out hydraulic conductivity tests on exhumed GCLs after 5 and 7 years in a cover. The authors investigated the effect of mass per unit area (MPUA) on the hydraulic conductivity of GCLs under different conditions. They performed hydraulic conductivity tests with DIW on exhumed GCLs with MPUA ranged between 4.3 and 6.0 kg/m^2 . According to the results, the hydraulic conductivity of GCLs decreased as the MPUA increased.

It is seen from literature studies that testing conditions can affect the hydraulic performance of GCLs. The influence of material properties such as MPUA of bentonite on the barrier performance of GCLs has been scarcely investigated in detail so far. Therefore, in the content of this study the influence of MPUA of bentonite on the hydraulic conductivity of GCLs to CaCl_2 solutions were investigated and discussed.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

In this study, one local GCL was used. This GCL consist of a layer of sodium bentonite (Na Bentonite) sandwiched between woven and nonwoven geotextiles. GCL roll has a bentonite MPUA ranged between 3.0 and 6.0 kg/m^2 . The specific gravity of bentonite taken from the GCL was 2.70 whereas the liquid limit and plasticity index was 231 and 170, respectively. The permeants used in this study were deionized water (DIW) and calcium

chloride solutions (CaCl_2) prepared at 15 and 30 mM 15 mM CaCl_2 can be accepted as neither weak nor strong concentration level (i.e. medium), whereas 30 mM was accepted as the strong chemical salt herein. CaCl_2 solutions were used as the permeant to show the influence of cation exchange between the permeant and the GCL in terms of barrier performance. CaCl_2 solutions were prepared by dissolving $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in DIW.

2.2. Methods

2.2.1. Sample Preparation

Circular GCL samples were cut from the roll. For this purpose, 110 mm in diameter circles were drawn on the GCL roll. Afterwards these circles were cut using a mini fabric cutter. The diameter and mass of the samples were measured, and their MPUAs were calculated. Then the samples were classified according to their MPUA values. The sample with specified MPUA was selected from that group. Then, the diameter of this group of GCL samples were reduced to 100 mm. The MPUA value of the specimen was recalculated and recorded.

2.2.2. Free Swell Test

Free swell tests were performed on Na-Bentonite which was taken from the GCL by following the ASTM 5890 (ASTM D5890 – 19, 2010). DIW and CaCl_2 solutions with different concentrations were used as the reagent water. Before starting to the test, bentonite was grounded with mortar and pestle to sieve from No. 200. U.S. Standard Sieve (0.075 mm). Then, bentonite was dried in an oven at 105°C for 24 hours. To start the test, approximately 90 mL of reagent water was filled in a 100-mL graduated cylinder. Then, 2.0 g of oven-dried bentonite was poured in the cylinder by 0.1 g increments. Between each increments, at least 10 minutes should be waited. Lastly, the additional reagent water was used to rinse any particles adhering to the sides of the cylinder and to fill the cylinder to 100-mL level. Swell index of was measured and recorded after 24 h.

2.2.3. Hydraulic Conductivity Test

Hydraulic conductivity tests were carried out using flexible-wall permeameters (Fig. 1) by following the ASTM: D6766-12 (ASTM:D6766-12, 2012). The falling head constant tail water method was applied throughout the tests. Instead of porous stones, heavy type of non-woven geotextiles were used. GCL sample was sandwiched between two heavy non-woven geotextiles and placed on the base pedestal of the permeameter cell. Then, the perimeter of the GCL sample was sealed with Na-bentonite to prevent sidewall leakage. Latex membrane was placed over the GCL and three O-rings were attached on top and bottom pedestals. The permeameter was filled with tap water. The hydraulic conductivity tests were performed under 35 kPa effective stress and an average of hydraulic gradient of 35. To simulate the field conditions, the flow direction was kept from top to bottom.



Fig. 1 General appearance of flexible wall permeameter cells

3. Results and Discussion

3.1. Swell Index

Swell index tests were conducted with DIW, 15 mM and 30 mM CaCl₂ solutions. The results of these tests are shown Fig. 2.

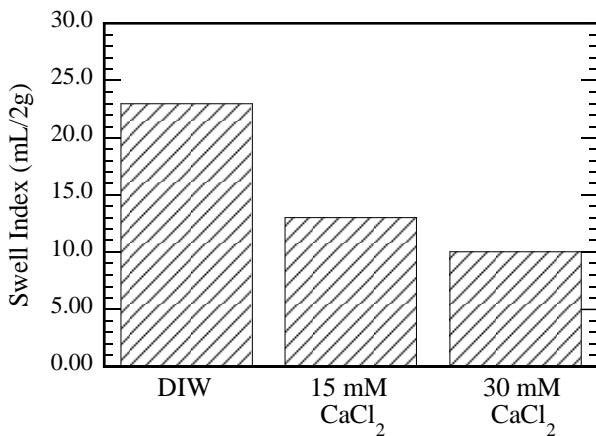


Fig. 2 Results of swell index tests performed on the Na-Bentonites with DIW and CaCl₂ solutions.

As seen in Figure 2, the swell index decreases while increasing the CaCl₂ concentration. Swell index was 23 mL/2g in DIW whereas it decreased to 13 mL/2g in 15 mM CaCl₂ and 10 mL/2g in 30 mM CaCl₂ solution. The reason for this behaviour is the compression of the diffuse double layer surrounding the bentonite particles after cation replacement (Jo et al., 2001; Lee et al., 2005). Therefore, it can be stated that swelling of bentonite is restricted after bombarding the bentonite with Ca²⁺ ions. The swelling of bentonite was also affected from the CaCl₂ concentrations. That is, increasing the concentration also increases the amount of divalent cations present in the permeant, resulting low swell index.

3.2. Hydraulic Conductivity

The results of hydraulic conductivity tests are shown in Figure 3 for GCLs with MPUA of 3.0 (shown with open symbols) and 5.0 kg/m² (shown with closed symbols).

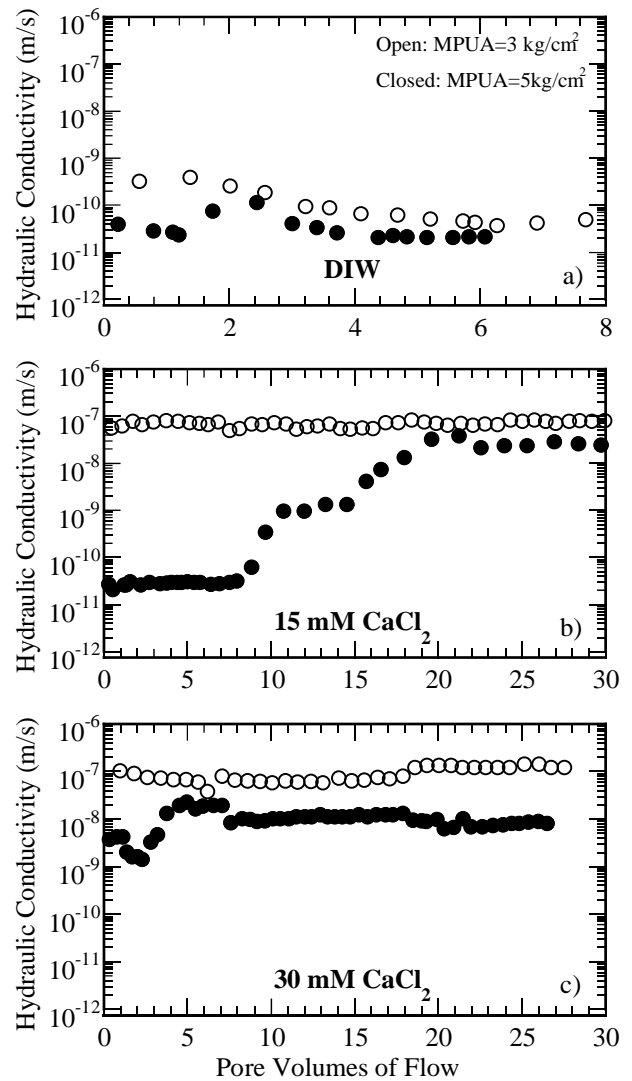


Fig. 3 Hydraulic conductivity of GCL to: a) DIW, b) 15 mM CaCl₂, c) 30 mM CaCl₂

Figure 3a shows the hydraulic conductivity behaviours of GCLs permeated with DIW. The hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 3.0 kg/m² was approximately 3.1×10^{-10} m/s at the beginning of the test (up to ~2.6 PVF). Then, the hydraulic conductivity of this sample decreased to 4.6×10^{-11} m/s due to the swelling of bentonite during permeation. The hydraulic conductivity of GCL sample with higher MPUA (i.e. 5.0 kg/m²) had lower hydraulic conductivity (i.e. $\sim 3.0 \times 10^{-11}$ m/s) even after the beginning of the test. When comparing final hydraulic conductivities between these two samples, the difference seems to be not significant, indicating MPUA has negligible influence on the hydraulic conductivity when DIW was used as the permeant. Since bentonites in GCLs have high swelling potential with DIW, particles swell incredibly and fill the inter aggregate pores (particles form aggregates in GCLs when air dried), regardless of the MPUA.

The hydraulic conductivities of GCLs with CaCl₂ solutions are shown in Figure 3b-c. As seen in Figure 3b, the hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 3.0 kg/m² to 15 mM CaCl₂ was high (i.e. 1.3×10^{-7} m/s) throughout the test. As previously mentioned, 15 mM CaCl₂ was medium level salt solution that may have an effect on the hydraulic conductivity. Indeed, the reason for high hydraulic conductivity was due to less amount of bentonite available in GCL. That is, less amount of bentonite

could not swell sufficiently and fully fill the gaps between the aggregates to slow the flow across the GCL. In contrast, the hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 5.0 kg/m² was initially low (1.0×10^{-11} m/s) and then increased about 4 orders of magnitude ($\sim 1.0 \times 10^{-7}$ m/s). The greater amount of bentonite initially filled the inter aggregate gaps and formed an impermeable layer. Subsequently, however, Na⁺ in bentonite was exposed to cation exchange with Ca²⁺ in CaCl₂ solution during permeation. Therefore, the hydraulic conductivity of GCL increased with time (Figure 3b).

The hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 3.0 kg/m² to 30 mM CaCl₂ was almost similar to that of 15 mM CaCl₂ (Figure 3c). The hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 3.0 kg/m² was 1.3×10^{-7} m/s. The hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 5.0 kg/m² was about 1.0×10^{-9} m/s at the beginning of the test and increased to 1.0×10^{-8} m/s after 3.8 pore volume of flow (PVF) passed across the sample. Although the amount of bentonite in GCL is relatively high, the cation exchange between the permeant solution and the GCL still took place, resulting high hydraulic conductivity. Higher CaCl₂ concentration accelerate the cation exchange mechanism and bentonite particles loss their swelling ability. The final hydraulic conductivity of GCL to 30 mM CaCl₂ with MPUA of 5.0 kg/m² was reached to 8.3×10^{-9} m/s when test was terminated (Figure 3c).

According to the obtained test results the final hydraulic conductivities were also calculated by taking the average of last four consecutive readings. The final hydraulic conductivities of GCLs are summarized in Table 1.

Table 1. Final hydraulic conductivities of GCLs

MPUA (kg/m ²)	Permeant Solution	PVF	Hydraulic Conductivity (m/s)
3.0	DIW	8.79	4.6×10^{-11}
3.0	15 mM CaCl ₂	30.70	7.6×10^{-8}
3.0	30 mM CaCl ₂	27.58	1.3×10^{-7}
5.0	DIW	6.10	2.1×10^{-11}
5.0	15 mM CaCl ₂	36.83	1.5×10^{-8}
5.0	30 mM CaCl ₂	26.55	8.3×10^{-9}

The effect of permeant type on the final hydraulic conductivity is shown in Figure 4. In this figure, the final hydraulic conductivities of GCLs which have the same MPUAs were compared. It is seen in Figure 4 that the final hydraulic conductivities of GCLs to CaCl₂ were significantly higher than those conducted with DIW. However, it is also seen that the final hydraulic conductivities of GCLs to 15 mM and 30 mM CaCl₂ solutions were close to each other.

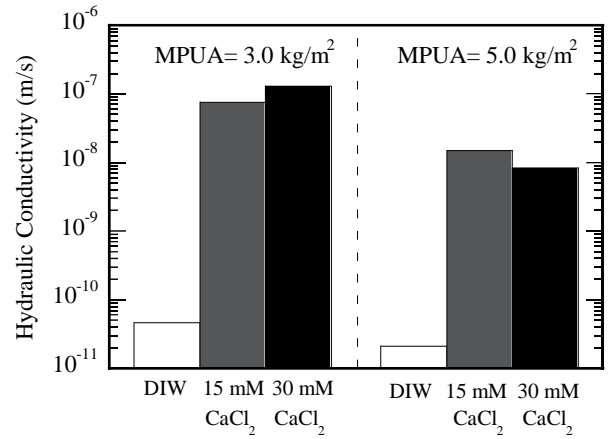


Fig. 4 Final Hydraulic Conductivities of GCL to CaCl₂ solutions

To show the influence of MPUA on the hydraulic conductivity of GCL, the hydraulic conductivity ratio (HCR) versus CaCl₂ concentration was presented in Figure 5. The HCR was calculated by dividing the final hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 3.0 kg/m² to the final hydraulic conductivity of GCL with MPUA of 5.0 kg/m². As seen in Figure 5 hydraulic conductivity ratio increased with an increase in the CaCl₂ concentration. This shows that MPUA becomes a significant parameter when concentration of salt solution increased. Because HCR increased from factor of 2.2 to 16 when permeant was changed from DIW to 30 mM CaCl₂ solution.

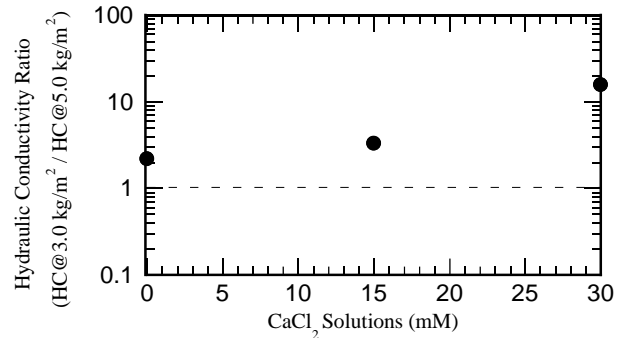


Fig. 5 Change in hydraulic conductivity ratio (HCR) as a function of CaCl₂ solutions

4. Conclusions

In this study, hydraulic conductivity and swell index tests were conducted to determine the influence of MPUA on GCLs. The obtained results are summarized below:

Swell index of bentonite was 23 mL/2g in DIW. However, it was 15 mL/2g in 15 mM and 10 mL/2g in 30 mL/2g CaCl₂ solution. The reduction in the swell index was expected because the thickness of diffuse double layer surrounding the bentonite particles suppressed with an increase in the concentration level and valence of the cation. The swell index obtained in 30 mM CaCl₂ solution (10 mL/2g) is a typical value for Ca-bentonite. Thus, the swell indices reported herein are in good agreement with the data reported in the literature.

The influence of MPUA on the hydraulic conductivity of GCLs was not observed apparently when DIW was the permeant. In contrast, the influence of MPUA was clearly seen when CaCl₂ solutions were used as the permeant. That is increasing MPUA

caused a decrease in the hydraulic conductivity with CaCl₂ solutions.

The final hydraulic conductivity values of GCLs was affected from the permeant type and MPUA. However, the influence of MPUA on GCLs with CaCl₂ solutions may not always be visible in terms of final hydraulic conductivity. This effect could be apparently seen at the beginning of the hydraulic conductivity tests.

5. Acknowledge

This study has been financially supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) with a Grant No: 119R044. The writers are grateful to TUBITAK for this valuable support.

References

- ASTM:D6766-12. (2012). Standard test method for evaluation of hydraulic properties of geosynthetic clay liners permeated with potentially incompatible aqueous solutions. In *ASTM International, West Conshohocken, PA, USA* (pp. 1–9). <https://doi.org/10.1520/D6766-12>. Copyright
- ASTM D5890 – 19. (2010). Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic. *Annual Book of ASTM Standards*.
- Jo, H. Y., Katsumi, T., Benson, C. H., & Edil, T. B. (2001). *HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND SWELLING OF NONPREHYDRATED GCLS PERMEATED WITH SINGLE-SPECIES SALT SOLUTIONS*. 53(6), 1315–1327.
- Katsumi, T., Ishimori, H., Onikata, M., & Fukagawa, R. (2008). Long-term barrier performance of modified bentonite materials against sodium and calcium permeant solutions. *Geotextiles and Geomembranes*. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2007.04.003>
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with geosynthetics*.
- Kolstad, D. C., Benson, C. H., Edil, T. B., & Jo, H. Y. (2004). Hydraulic conductivity of a dense prehydrated GCL permeated with aggressive inorganic solutions. *Geosynthetics International*. <https://doi.org/10.1680/gein.11.3.209.44488>
- Lee, J.-M., Shackelford, C. D., Benson, C. H., Jo, H.-Y., & Edil, T. B. (2005). Correlating Index Properties and Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2005\)131:11\(1319\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2005)131:11(1319))
- Lee, J.-M., & Shackelford, C. D. (2005). Impact of Bentonite Quality on Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2005\)131:1\(64\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2005)131:1(64))
- Petrov, R. J., Rowe, R. K., & Quigley, R. M. (1997). Selected Factors Influencing GCL Hydraulic Conductivity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(1997\)123:8\(683\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(1997)123:8(683))
- Rowe, R. K., Brachman, R. W. I., Hosney, M. S., Take, W. A., & Arnepalli, D. N. (2017). Insight into hydraulic conductivity testing of geosynthetic clay liners (GCLs) exhumed after 5 and 7 years in a cover. *Canadian Geotechnical Journal*. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0473>.



Jetson Nano Üzerinde Gerçek Zamanlı Linux Çekirdeği Uygulanması

Salih Palamut^{1*}, Abdullah Elewi² ve Erdiñç Avarođlu³

^{1*} Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3431-6268), palamutsalih@gmail.com

² Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9774-5292), elewi@mersin.edu.tr

³ Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Mersin, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1976-2526), eavaroglu@mersin.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014660)

ATIF/REFERENCE: Palamut, S., Elewi, A. & Avaroğlu, A. (2021). Jetson Nano Üzerinde Gerçek Zamanlı Linux Çekirdeği Uygulanması. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1274-1278.

Öz

Bu çalışmamızda gerçek zamanlı sistemler ve yaklaşımları hakkında bilgilere yer verilmiştir. Gerçek zamanlı sistemlerin esnek, sıkı ve katı uygulama tiplerine değinilmiş ve gerçek zamanlı bir sistemin modellemesi yapılmıştır. Gerçek zamanlı bir sistemin gömülü bir Linux sürümüne nasıl uygulanacağı araştırılmış, en yaygın kullanılan açık kaynaklı yaklaşımları olan RTLinux, Xenomai ve RTAI hakkında bilgiler sunulmuş ve Jetson Nano üzerinde çalıştırılacak olan tam kesme destekli çekirdek (PREEMPT_RT) hakkında bilgi verilmiştir. Uygun Linux yaması ile Jetson Nano üzerinde bulunan Linux sürümüne tam kesme destekli gerçek zamanlı çekirdek derlemesinin adım adım uygulanması gösterilerek gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada eski ve yeni çekirdek cyclicttest programıyla test edilmiş ve sonuçlar ortaya konulmuştur. Böylece Jetson Nano üzerinde gerçek zamanlı uygulama çalıştırılacak sistem hazır lanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jetson nano, Linux, gerçek zamanlı sistemler, Gerçek zamanlı linux, Linux çekirdeği, Zamanlama.

Real-Time Linux Kernel Implementation on Jetson Nano

Abstract

In this study, information about real-time systems and their approaches is given. Flexible, tight and rigid application types of real-time systems are mentioned and a real-time system is modeled. How to apply a real-time system to an embedded Linux version is researched, information about the most widely used open-source approaches, RTLinux, Xenomai and RTAI, and information about the fully interrupt supported kernel (PREEMPT_RT) to be run on Jetson Nano is given. Demonstrated step-by-step implementation of real-time kernel compilation with full interrupt support to the version of Linux on Jetson Nano with the appropriate Linux patch. In this study, the old and new cores were tested with the cyclicttest program and the results were presented. Thus, the system to run real-time applications on Jetson Nano has been prepared.

Keywords: Jetson nano, Linux, Realtime systems, Realtime linux, Linux kernel, Timing.

* Corresponding Author: palamutsalih@gmail.com

1. Giriş

Gerçek zamanlı sistemlerde, gerçek zamanlı bir programın doğru yürütülmesi yalnızca çıktının mantıksal doğruluğuna değil, aynı zamanda bu tür sonuçların belirli bir zaman çerçevesi veya son tarih içinde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğine de bağlıdır (Reghezani, Massari ve Fornaciari, 2019).

Bir sistemin gerçek zamanlı olabilmesi için görev zamanlama algoritmalarını ve gerçek zamanlı bir programın doğru yürütülmesini desteklemelidir. Literatürde birden fazla gerçek zamanlı algoritma mevcuttur, sık kullanılan algoritmalar (RM, EDF, PIP, PCP, SRP) en az birini tam anlamıyla desteklenmelidir (Palamut, Gonultas, Elewi ve Avaroglu, 2019).

Gerçek zamanlı sistemlerin uygulama tipleri üç madde halinde incelenebilir. Bu maddeler zaman limitlerine göre oluşturulmuştur (Kopetz, 2013).

Esnek uygulamaların amacı hizmet kalitesini (QoS) korumaktır. Buna en iyi örnek video karelerinin bir saniyede geçmesi gereken kare sayısını korumaktır. Bazı karelerin teslim sürelerinin kaçırılması insan veya nesnelere üzerinde güvenlik açısından kritik sonuçlara yol açmadığından sadece kalitenin düşmesi anlamına gelir, fakat bu durumun kabul edilebilir bir kullanıcı deneyimi sağlaması esastır.

Sıkı uygulama, esnek uygulamaya benzer, ancak herhangi bir durumda gerçekleşen işlem kaçırma çıktısı geçersiz kılar. Bu tarihten sonra gerçekleşen sonuçların hiçbir değeri yoktur ve kullanılmamalıdır.

Katı uygulama, genellikle gerçek zamanlı bir sistemden bahsedildiğinde bu tip sistemler akla gelir. Bu sınıfta son teslim tarihinin kaçırılması istenmeyen sonuçlara yol açacağından zaman kısıtlamalarını garanti etmek için tüm sistemin ve sistem kodlarının detaylı analizlerini gerektirir. Bu tarz uygulamalar güvenlik açısından kritik uygulamalarda kullanılırlar. Havacılıkta kullanılan otomatik pilot uygulamaları bu sınıfa girer.

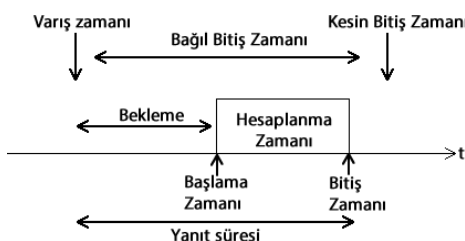
Gerçek zamanlı görevler (RT Task), gerçek zamanlı bir çekirdek (RT Kernel) tarafından yürütülür. Gerçek zamanlı sistemleri daha iyi anlayabilmek için yapısına bakalım. Bu yapı için önemli olan bazı terimler şunlardır:

İş Cevap Süresi (Job Response Time), işin sonlandığı zamandır. Serbest bırakma anında ölçülür.

Görev Cevap Süresi (Task Response Time), tüm işler arasındaki maksimum yanıt süresidir.

Kritik An (Critical Instant), bir görev için; en büyük görev yanıt süresini üreten varış zamanıdır.

Sistem modeli Şekil 1’de olduğu gibi, serbest bırakılma | varış zamanı (release | arrival time) ile işin kesin bitirilme zamanı (deadline) arasındaki süre, hesaplanma zamanı (execution time) olarak tanımlanmaktadır (Liu, 2000).



Şekil 1. Sistem Modeli

Girişte sistem tanımlanması yapılmış olup, ikinci bölümde gerçek zamanlı Linux çekirdeğinden bahsedilmiş, üçüncü bölümde Jetson Nano üzerinde Linux çekirdeğinin nasıl kullanılacağı gösterilmiştir. Üçüncü bölümde yapılan işlemlerden elde edilen bilgiler bulgular kısmında toplanmış, bu bilgilerden yola çıkılarak tartışma bölümünde faydası açıklanmıştır. Son olarak sonuç bölümünde çalışma özetlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Gerçek zamanlı programları çalıştırabilme özelliklerine sahip çekirdek ve çekirdek yaklaşımları gerçek zamanlı Linux çekirdeği, yardımcı çekirdek yaklaşımları ve öncelikli çekirdek yaklaşımı olmak üzere üç başlık altında toplanıp bu bölümde incelenmiştir.

2.1. Gerçek Zamanlı Linux Çekirdeği

RTLinux, robotları, veri toplama sistemlerini, üretim tesislerini ve diğer zamana duyarlı aletleri ve makineleri kontrol etmeyi mümkün kılan katı gerçek zamanlı Linux sürümüdür (Yodaiken, 2000).

Yaklaşık 43 yıl önce araştırmacılar Bell Laboratuvarlarında Multi-Environment Real-Time (MERT) adında deneysel bir işletim sistemi gerçekleştirdi (Jacobs, 1978). Bu işletim sisteminin hem gerçek zamanlı hem de genel amaçlı uygulamaları çalıştırması amaçlanmıştır. Ancak MERT tasarımcıları, her ikisini de destekleyebilecek tek bir işletim sistemi yapmaya çalışmak yerine, gerçek zamanlı bir işletim sistemi ile genel amaçlı (zaman paylaşım) bir işletim sisteminin birlikte çalıştığı bir sistem yapmaya çalıştılar.

Tasarımcılar gerçek zamanlı işletim sistemi ile aynı makinede sofistike bir zaman paylaşım sisteminin mevcudiyeti, insan-makine ara yüzünün gerçek zamanlı süreçlere tasarlanmasında yararlanılabilecek güçlü araçların sağlandığına dair kanıtları öne sürmüştür.

Yani MERT’in tasarımcıları, gerçek zamanlı işletim sistemini gerçek zamanlı olmayan işletim sisteminden ayırarak, uygulama geliştiricilerin gerçek zamanlı olmayan işletim sisteminin hizmetlerini kullanmasına izin verebildiklerini iddia ettiler (Yodaiken, 2000).

RT çekirdeğinin görevi, gerçek zamanlı görevler için ham donanıma doğrudan erişim sağlamaktır, böylece ihtiyaç duyduklarında minimum gecikme ve maksimum işlemeye sahip olabildiğinden, MERT’de bulunan temel işleme fikrinden daha iyidir (Yodaiken, 2000).

Bu çalışmada PREEMPT_RT yaması kullanılacağından diğer çekirdek yaklaşım tarzlarından bahsedilmemiştir.

2.2. Yardımcı Çekirdek Yaklaşımları

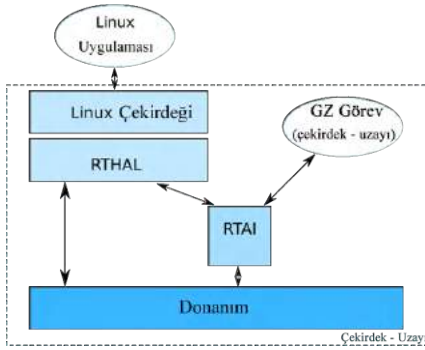
PREEMPT_RT yamasına yönelik en yaygın alternatif yaklaşımlar, genellikle gerçek zamanlı iş parçacıklarının yönetiminden sorumlu ek bir işletim sistemi “pico-kernel” in varlığına dayanır. Eşdeğer olarak kokernel, pico-kernel, nano-kernel veya dual kernel (dk) tabanlı yaklaşımlar olarak adlandırılırlar. Buradaki temel fikir, piko-çekirdeğin donanım ve genel amaçlı Linux çekirdeği arasında bir katman olarak çalışmasını sağlamaktır (Yodaiken, 2000).

En yaygın kullanılan açık kaynaklı yaklaşımlar RTLinux, Xenomai ve RTAI dir. Bu yaklaşımlardan ikisi, Xenomai veya

RTAI oluşan donanım kesintilerini (interrupt) yönetmek için Adaptive Domain Environment for Operating System (ADEOS) katmanını kullanır. Aslında ADEOS, her biri özel bir adres alanına ve kaynaklara sahip ayrı işletim sistemi alanları yaratır. Etki alanları arasında kaynak paylaşımı (ör. Cihazlar) yalnızca ADEOS aracılığıyla mümkündür (Yaghmour, 2002).

2.2.1. RTAI

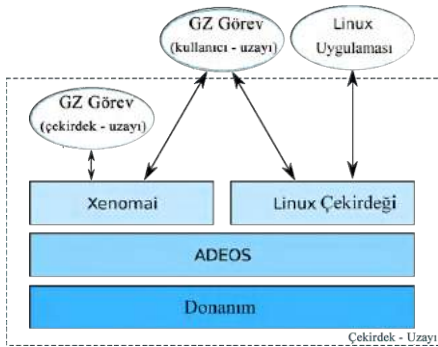
Paolo Mantegazza tarafından Politecnico di Milano'da 2000 yılında geliştirilen RTAI (Mantegazza, Dozio ve Papacharalambous, 2000), çekirdek alanı düzeyinde Linux'a gerçek zamanlı yeteneklerini sağlamayı amaçlayan bir ortak çekirdek yaklaşımıdır. Kullanıcı alanında LXRT arabirimi aracılığıyla sınırlı sayıda bu tür yetenekler de sağlanır. Daha sonra RTAI, ADEOS alt sistemine taşındı. Bu durumda, Xenomai'den farklı olarak, kesintilerin işlenmesi esas olarak RTAI tarafından yönetilir. Bu yaklaşım Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. RTAI

2.2.2. XENOMAI

Philippe Gerum tarafından 2002 yılında piyasaya sürülen Xenomai (Gerum, 2004) kullanıcı alanında gerçek zaman sağlayan bir katmandır. Xenomai başlangıçta ADEOS katmanına dayanıyordu, ancak son sürümlerde yalnızca basitleştirilmiş bir kısmı, özellikle de I-pipe (interrupt pipeline) adı verilen kesme dağıtım alt sistemi kullanılmaktadır. Bu yaklaşım Şekil 3'te gösterilmiştir.

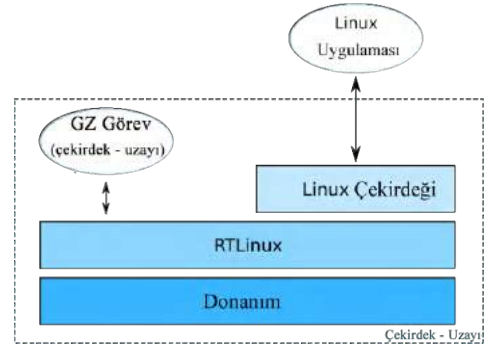


Şekil 3. Xenomai

2.2.3. RTLINUX

Victor Yodaiken tarafından 1997 yılında geliştirildi, ilk kararlı sürüm 2000 civarında gerçekleşti ve ardından patent 2007'de Wind River Systems'a satıldı. RTLinux (Yodaiken, 2000), Linux çekirdeğini gerçek zamanlı uygulamalarla birlikte tamamen öncelikli bir işlem olarak çalıştırır. Temel olarak, RTLinux, genel amaçlı çekirdeğin ne zaman çalıştırılacağına ve gerçek zamanlı görevlerin son teslim tarihlerine göre ne zaman çalıştırılacağına karar veren bir zamanlayıcı uygular. Bu yaklaşım Şekil 4'te gösterilmiştir.

e-ISSN: 2148-2683



Şekil 4. RTLinux

2.3. Öncelikli Çekirdek Yaklaşımı

Gerçek zamanlı bir Linux çekirdeğinin ilk izleri, 1990'ların sonlarında literatürde bulunabilir. En başından beri çözülmesi en zor sorun, Linux çekirdeğinin doğrudan kesmeleri destekleyecek şekilde öncelikli kullanmanın imkansızlığından ibaretti.

Finney tarafından 2001 yılında yayımlanan bir makaleye göre (Finney, 2001), eğer işlerin sonlanma zamanı milisaniyeler düzeyinde gerçekleşecek şekilde kalırsa, tek çekirdekli bir sistemde gerçek zamanlı görevler için saf bir Linux çekirdeği kullanılabileceği fikrini öne sürdü.

Linux çekirdeğinin PREEMPT_RT yaması aslında bir grup çekirdek geliştiricisi tarafından geliştirilen bir dizi yamadır. Proje Ingo Molnár tarafından başlatıldı ve ilk sürüm 2.6.11 çekirdek sürümüne dayanıyordu (Mart 2005).

Böylelikle bir yama ile hali hazırda kullanılan Linux çekirdeği öncelikli çekirdek modeline çevrilebiliyordu.

3. Jetson Nano Üzerinde Gerçek Zamanlı Linux Çekirdeği Uygulanması

Jetson nano için gerçek zamanlı çekirdek (kernel) derlenmiştir. Linux terminal kullanımı ve temel Linux bilgisi gerekmiş ve daha detaylı teknik bilgi için Jetson Nano kurulum belgesi kullanılmıştır (Palamut, 2021).

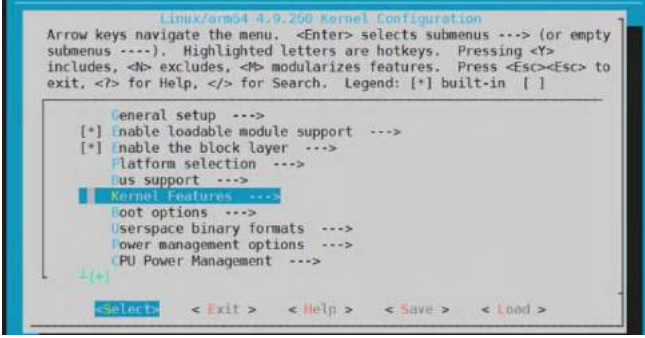
İşlem yapılacak sistemin çekirdek sürüm numarası öğrenilmiş ve bu sürüm numarasına uygun yama paketleri sistem üzerine indirilmiştir (N., 2019).

```
$ wget
https://developer.nvidia.com/embedded/14t/r32_release_v5.1/r32_release_v5.1/sources/t210/public_sources.tbz2
$ tar -xvf public_sources.tbz2
Linux_for_Tegra/source/public/kernel_src.tbz2
$ cp Linux_for_Tegra/source/public/kernel_src.tbz2
kernel_src.tbz2
$ rm -rf Linux_for_Tegra
$ tar -xvf kernel_src.tbz2
$ cd kernel/kernel-4.9
```

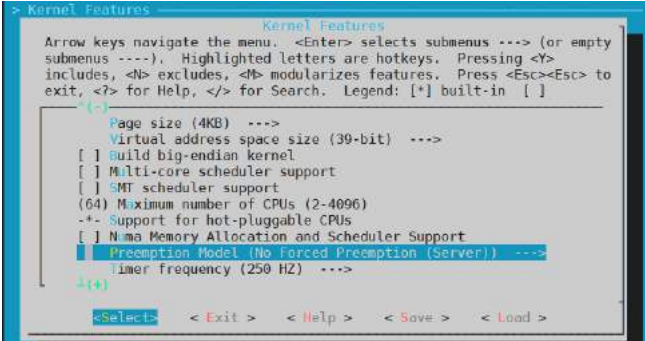
Bu işlemlerden sonra derleme aşamasına geçilmiştir. İlk adım olarak çekirdek ayarları Jetson üzerinden alındıktan sonra gerçek zaman yapısına uygun ayarlar eklenmiş ve sistem çekirdeği ayarını tam destekli kesme tanımı olan Fully Preemptible Kernel (RT) olarak gerçekleştirilmiştir (How to build NVIDIA Jetson Nano kernel, 2021).

```
$ zcat /proc/config.gz > .config
$ ./scripts/rt-patch.sh apply-patches
$ make menuconfig
```

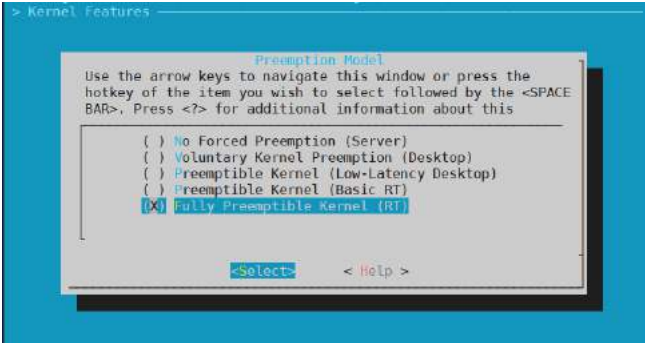
Bu aşamada gelen menüden Kernel Features ->Preemption Model-> Fully Preemptible Kernel (RT) seçimi yapılarak çekirdek gerçek zamanlı olarak ayarlanmıştır. Bu aşamalar Şekil 5,6 ve 7’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Çekirdek Ayarları Bölümü



Şekil 6. Çekirdek Özellikleri Bölümü



Şekil 7. Gerçek Zaman Destek Çeşidi

Diğer seçim işlemleri menü üzerinden bulunmuş ve gerçekleştirilmiştir.

```
#Kernel Features -> Timer frequency: 1000 HZ
#General setup -> Timers subsystem : Full dynticks system (tickless)
```

İlgili işlem adımları tamamlanmış ve sayfadan çıkılırken dosya kaydedilmiştir. Derleme işlemi yaklaşık 60 dakika sürmüştür.

```
$ cd ../..
$ ./nvbuild.sh
$ sudo make modules_install
```

```
$ sudo cp arch/arm64/boot/Image /boot/Image
```

Bu aşamada işlemler başarılı olmuş ve sistemi yeniden başlattığımızda gerçek zamanlı çekirdeğimiz çalışmaya başlamıştır.

Bu işlemi doğrulamak için Linux komut penceresinden uname -a yazarak çekirdek isminde #1 SMP PREEMPT RT ifadesi olup olmadığı kontrol edilmiş ve #1 SMP PREEMPT RT ifadesi yer aldığı görülmüştür.

4. Bulgular

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırması gereken test yazılımı ve karşılaştırma çıktıları bu bölümde yer almıştır.

4.1. Test Yazılımın Çalıştırılması

Bu işlemler için cyclicttest (Cyclicttest start [Wiki], 2018) isimli uygulama kullanılmıştır. Bu uygulamanın kullanılabilmesi için kaynak koddan derlenmiş ve kurulmuştur.

```
$ sudo apt install libnuma-dev -y
```

```
$ wget https://mirrors.edge.kernel.org/pub/linux/utils/rt-tests/rt-tests-1.10.tar.gz
```

```
$ tar xvzf rt-tests-1.10.tar.gz
```

```
$ cd rt-tests-1.10/
```

```
$ make && sudo make install
```

4.2. Yamadan Önce ve Sonrasının Karşılaştırılması

Karşılaştırma için uygulamanın yönetici izinleriyle çalıştırılmış. Bu bilgileri grafik çıktı almak için OSADL'nin sunduğu grafik işlemleri kullanılmıştır (OSADL., 2017).

```
$ sudo apt install gnuplot -y
```

```
$ mkdir logs && cd logs
```

```
$ wget https://www.osadl.org/uploads/media/mklatencyplot.bash
```

```
$ chmod u+x mklatencyplot.bash
```

Bu test yaklaşık 6 saat sürmüştür. Daha hızlı sonuç almak için mklatencyplot.bash dosyasının ilk satırında bulunan döngü sayısını 100000 ile değiştirilmiş ve cyclicttest ifadesi başına sudo ifadesini eklenmiştir.

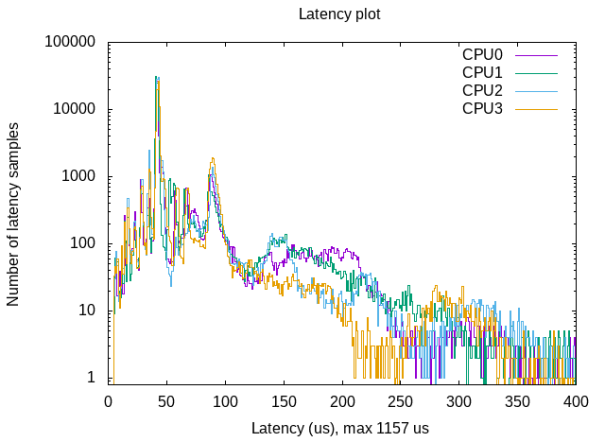
```
$ sudo cyclicttest -l100000 -m -Sp90 -i200 -h400 -q >output
```

İlk satır bilgilerini açıklamaları:

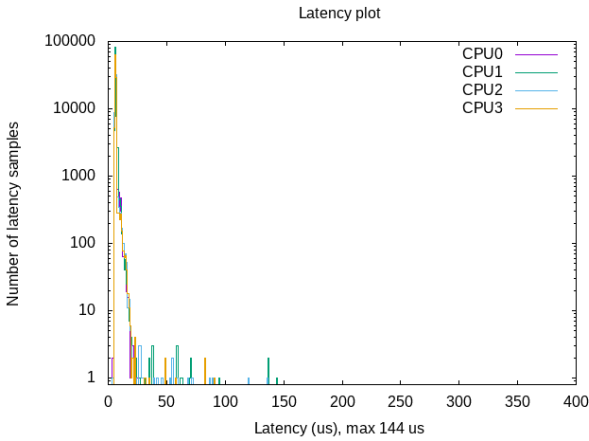
- l: döngü sayısı
- m: Bellek erişimini kilitle
- Sp90: Tüm mevcut çekirdekleri kullan ve önceliği 90 olarak belirle.

- -i200: işparçaları arasında geçen süre
- -h400: 400 mikro saniye aralıklı histogram çıktısı üret
- -q: işlem bitince ekranda çıktıyı göster.
- >: Linux konsol bilgilerini dosyaya aktarma işlemi.

İlgili komut dosyası olan mklatencyplot.bash içinden çeşitli denemeler yapılmış ve yapılan bazı denemelerde alınan çıktılar aşağıda verilmiştir. İmajın üzerinde hazır gelen çekirdek değerleri Şekil 8 üzerinde, yeni hazırladığımız çekirdeğin çalışma değerleri ise Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. SMP Kernel



Şekil 9. RT Kernel

5. Tartışma

RT Kernel desteği görüntü işleme yapılan sistem için önemlidir. Bu çalışmamızda gömülü sistem olarak Nvidia Cuda Destekli OpenCv çalıştırabilen Jetson Nano tek kart bilgisayarına gerçek zamanlı uygulama çalıştırabilen çekirdek derlenmiştir. Böylelikle yapayzeka destekli görüntü işleme algoritmalarında gerçek zamanlı programlama yapılabilir.

6. Sonuç

Yapılan çalışmada günümüze kadar olan gerçek zamanlı Linux kullanımları ele alınmış, farkları incelenmiş ve Jetson Nano üzerinde tam kesme önceliği destekli Linux çekirdek yaması

kurulum ve kullanım işlemleri gösterilmiştir. Yapılan testlere göre SMP çekirdekte alınan 1157 mikro saniyelik gecikme değeri Rt çekirdeğinde 144 mikro saniye olarak gözlemlenmiştir. Böylelikle sistem gerçek zamanlı işlemler için hazır hale getirilmiştir.

Kaynakça

- Reghenzani, F., Massari, G., & Fornaciari, W. (2019). The Real-Time Linux Kernel. *ACM Computing Surveys*, 52(1), 1–36. <https://doi.org/10.1145/3297714>
- Palamut, S., Gonultas, T., Elewi, A., & Avaroglu, E. (2019). Task Scheduling Algorithms and Resource Access Protocols in Real Time Systems. *2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*. Published. <https://doi.org/10.1109/idap.2019.8875974>
- Kopetz, H. (2013). [Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications (Real-Time Systems Series)] [By: Kopetz, Hermann] [May, 2013]. Springer.
- Liu, J. W. S. (2000). *Real-Time systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Yodaiken, V. (2000). *The RTLinux Manifesto*. Yodaiken. <http://www.yodaiken.com/papers/rtlinuxmanifesto.pdf>
- Jacobs, I. (1978). Atlanta Fiber System Experiment: Overview. *Bell System Technical Journal*, 57(6), 1717–1721. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1978.tb02121.x>
- Yaghmour, K. (2002). *Adaptive Domain Environment for Operating Systems*. Adaptive Domain Environment for Operating Systems. Published
- Mantegazza, P., Dozio, L., & Papacharalambous, S. (2000). RTAI: Real time application interface. *Linux Journal*. Published.
- Gerum, P. (2004). *Xenomai - Implementing a RTOS emulation framework on GNU / Linux (First Edition)*. Philippe Gerum
- Finney, S. A. (2001). Real-time data collection in Linux: A case study. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 33(2), 167–173. <https://doi.org/10.3758/bf03195362>
- Palamut, S. (2021). *JETSON NANO KURULUM*. Google Books. https://books.google.com.tr/books?id=6UojEAAAQBAJ&lp_g=PR1&hl=tr&pg=PR1#v=onepage&q&f=false
- N. (2019, December 17). *PREEMPT-RT patches for Jetson Nano*. NVIDIA Developer Forums. <https://forums.developer.nvidia.com/t/preempt-rt-patches-for-jetson-nano/72941/25>
- How to build NVIDIA Jetson Nano kernel. (2021). RidgeRun. https://developer.ridgerun.com/wiki/index.php?title=Jetson_Nano/Development/Building_the_Kernel_from_Source#3._Compile_kernel_and_dtb
- Cyclictest start [Wiki]. (2018). Linuxfoundation. <https://wiki.linuxfoundation.org/realtime/documentation/howto/tools/cyclictest/start>
- OSADL. (2017). Create a latency plot from cyclictest histogram data: OSADL - Open Source Automation Development Lab. <https://www.osadl.org/Create-a-latency-plot-from-cyclictest-hi.bash-script-for-latency-plot.0.html>



Akıllı Tarımda Sensör Uygulaması

Erdiñç Öztürk¹, Yavuz Çelik², Pınar Kırıcı^{3*}

^{1,2} Bursa Uludag Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

^{3*} Bursa Uludag Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, pinarkirci@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013749)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, E., Çelik, Y. & Kırıcı, P. (2021). Akıllı Tarımda Sensör Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1279-1282.

Öz

Nüfus artışının, iklim değışikliklerinin ve küresel ısınmanın etkileri ile birleşen kaliteli tarımsal ürün yetiştirme sorununun yanında daha düşük maliyetle daha kaliteli ürün yetiştirme arayışı tarım sektöründe sorunların üstesinden gelebilmek için teknolojinin imkanlarını kullanma zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar Akıllı Sera sistemlerinin bu sorunların çözümünde önemli rol oynadığını göstermiştir. Çalışmamızda, Arduino kontrollü bir Akıllı Sera düzeneği hazırlanmıştır. Çalışmamızda, sera kontrolünün otonom olmasının yanında gerekli durumlarda bluetooth teknolojisi kullanılarak Akıllı seranın mobil cihazlarla uzaktan kontrolü de sağlanmıştır. Akıllı Sera ortamındaki veriler sensörlerle okunup hazırlanan yazılımla kontrol edilerek ısıtma, soğutma, sulama gibi müdahaleler istenildiği durumda otomatik, istenildiği durumda da geliştirilen Android uygulama yardımıyla manuel olarak da gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı sera, tarım, iklim değışikliği, arduino, sulama.

Sensor Application in Smart Agriculture

Abstract

The effects of population growth, climate changes and global warming have revealed the problem of growing quality agricultural products. In addition, the pursuit of growing higher quality products at lower costs has revealed the necessity of using the possibilities of technology in agriculture. Studies have shown that Smart Greenhouse systems are important in solving these problems. In our study, an Arduino-controlled Smart Greenhouse has been prepared. In addition to the autonomous control of the greenhouse, remote control of the smart greenhouse with mobile devices is also provided by using bluetooth technology when necessary. The data in the Smart Greenhouse environment were read by sensors. These data were controlled by the prepared software and interventions such as heating, cooling and irrigation were carried out automatically when requested, or manually with the help of the developed Android application when desired.

Keywords: Smart greenhouse, agriculture, climate change, arduino, irrigation.

1. Giriş

Dünyanın değişik bölgelerinde ve değişik iklim şartlarında yapılan çalışmalar küresel ve yerel olarak tarım alanında yaşanan sıkıntılarının çözümünde akıllı teknolojilerin kullanılmasını çok önemli hale gelmiştir.

Yapılan çalışmaların önemli bir amacı da tarıma elverişli arazilerin dışında akıllı sera ortamlarında tarımsal ürünlerin yetiştirilmesini sağlamaktır. Bu sayede uygun toprak ve iklim koşullarını oluşturarak akıllı sistemlerle kontrol edilen seralarda tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi ve insanların bu ürünlere erişiminin kolaylaştırılması önemli bir araştırma ve uygulama konusu olmuştur. Modern ve geleneksel tarım uygulamalarının uygulanabilirliğini karşılaştırarak modern tarıma geçişin hızlandırılması amacıyla birçok çalışma yapılmıştır.

[1]'de, Arduino UNO mikrodenetleyicisine dayalı bir serada patates çeşitlerinin bakımı ve yaşanan ihtiyacın daha verimli şartlarda karşılanabilmesi için bir çözüm olabilmesi amacıyla prototip ölçeğe sahip otomatik bir sera sistemi tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada, çıkış aktüatörlerinin performansının sensörden elde edilen giriş değeri ile uygunluğunu test edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sistemin bir bütün olarak iyi çalıştığı görülmüştür.

Yapılan çalışma, Cezayir'deki yaşanan su sorunu ifade edilmiş, tarım sektörünün toplam su kullanımının %70 oranla ilk kullanıcısı olması nedeniyle su tasarrufu sağlayarak verimli ürün yetiştirme konusunda suyun en uygun şekilde kullanımını sağlamayı hedeflemiştir. Bu konunun çözümünde akıllı teknolojilerin kullanılmasının uygun olacağı ifade edilmiştir. İncelenen çalışmada, tarım arazileri için su kullanımını optimize etmek ve çiftçinin tarlasını kontrol edebilmesine yardımcı olmak için bulut teknolojisi ve Arduino mikrodenetleyicisine dayalı otomatik bir sulama sistemi önerilmiştir [2].

Bu çalışmada, Akıllı serada iklim kontrolünü sağlamak amacıyla Akıllı Bulanık Mantık tabanlı bir kontrol sistemi kullanılmıştır. Üzerinde yer alan ve birbirine bağlı olan değişkenlerin sayısı nedeniyle karmaşık bir işlem olan sera iklim kontrolü bu yöntemle kontrol edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada, oluşturulan mikro iklim ortamı sayesinde sıcaklık ve nemin en uygun şekilde ayarlanabilmesi için özel ölçümler yapılmıştır. Bu kapsamda önerilen kontrol sistemi deneysel olarak doğrulanarak sistemin enerji ve su tasarrufu gösterilerek verimliliği değerlendirilmiştir [3].

Yapılan çalışmada, Arduino tabanlı akıllı sulama sistemi çalışması yapılmıştır. Çalışma, tarıma dayalı bir ülke olan Hindistan'da kalabalık nüfusu beslemenin zorluğunu gözönünde bulundurarak özellikle pirinç üretiminde akıllı seralarda akıllı sulama sistemlerinin kullanılması üzerine kurulmuştur. Çalışmada, düşük maliyetli ve kullanımı kolay Arduino tabanlı bir kontrollü sulama sistemi çalışması yapılmıştır. Yıllar geçtikçe akıllı teknolojinin yükselişi ile birlikte gerek tarımda insan çabalarını azaltma çabalarıyla birlikte su kaynakları ve güç tüketimini azaltma ihtiyacı gerekse hızla yaşanan nüfus artışının etkisiyle artan gıda taleplerinin karşılanabilmesi bakımından ekonomik şartlarda kaliteli ürün yetiştirme amacıyla çiftçilere destek verebilmesi için akıllı sulama sistemleri ve akıllı sera çalışmaları hız kazanmıştır [4].

Yapılan çalışmada Arduino kullanan IoT tabanlı akıllı sera otomasyonu çalışması yapılmıştır. Çalışmada, serada büyümeyi

artırmak verileri analiz etmek ve buna göre sistemi kontrol etmeyi hedeflemiştir. Sistemde, Arduino mikrodenetleyici ve ona uygun yazılım ve sensörler kullanılmıştır. Arduino Mega kartı kullanılarak tasarım yapılmış, sensörlerin sulama amacıyla toprak nemini ve seranın ışık yoğunluğunu ölçmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, akıllı sera tasarımlarında kontrol sisteminin temel aşamaları; sensörler aracılığıyla verilerin toplanması, verilerin işlenmesi ve istenen durumlarla karşılaştırılması ve son olarak sistemin durumunu değiştirmek için ne yapılması gerektiğine karar verilmesi olarak ifade edilmiştir [5].

Çalışmada, nem sensörü kullanılarak Arduino tabanlı otomatik sulama sisteminin Android işletim sistemli akıllı cihazlar üzerinden uzaktan kontrolü incelenmiştir. Bu çalışmada, uzaktan kumanda için Android işletim sistemli akıllı cihazları kullanan ekonomik ve kullanımı kolay, Arduino tabanlı otomatik bir sulama sistemi geliştirilmiştir. Sistem tasarımı yapabilmek amacıyla, çeşitli toprak türlerinin ve belirli ürünlerin incelenmesi ve yapılan örneklemelerin sonucunda elde edilen değerlerden elde edilen verilerin serada kullanılan topraktan elde edilen nem içeriğiyle orantılı bir toprak nem sensörü kullanılmıştır [6].

Bu projede, yaşanan bu gelişmeler ışığında gelişen teknolojiye ayak uydurabilmek amacıyla "Akıllı Tarım, Akıllı Sera" alanında bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, akıllı sera prototipi oluşturularak belirlenen iklim şartlarına uygun şekilde programlanmış, elde edilen veriler ışığında geliştirilmesi amaçlanmıştır. Projede, öncelikle bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Akıllı teknolojilerin tarımda ve seralarda kullanılmasının gerekliliği, incelenen çalışmalarda görülmüştür. Yapılan araştırmalarda akıllı tarım uygulamasının hangi ortamlarda, ne şekilde verim sağlayacağı konusunda incelemeler yapılmıştır. İncelemeler sonucunda oluşturulan prototip üzerinde testler yapılarak güncellemeler gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu projede, akıllı sera prototipinin oluşturularak akıllı sera ve doğal ortamda yetiştirilecek aynı bitkilerin gelişmelerinin izlenerek sonuçların analiz edilmesi ve bu kapsamda ne gibi geliştirmelerin yapılabileceğini belirlenmesi esas alınmıştır. Bunun yanı sıra aynı sera ortamında yetiştirilen çiçek ve sebze bitkilerinin gelişmelerinin takip edilerek aynı serada farklı bitkiler yetiştirilebilmesi konusunda bir ön çalışma yapılmıştır.

Çalışmada, yapılan araştırmalardan sonra işlem basamakları şu şekilde belirlenmiştir. Kullanılacak materyallerin belirlenmesi, Akıllı seranın fiziki prototipinin oluşturulması ve gelişimleri izlenecek bitkilerin tespiti, Uygun devre tasarımı, Arduino Uno mikrodenetleyiciye uygun yazılımın geliştirilmesi, Appinverter ile mobil uygulama geliştirilerek sera değerlerinin takip edilmesi, Verilerin analiz edilerek sonuçlarının değerlendirilmesi.

Çalışmada, akıllı sera prototipini oluşturabilmek ve kontrol edebilmek için kullanılan malzemeler, malzemelerin genel özellikleri ve kullanım amaçları aşağıdaki açıklanmıştır.

Çalışmamızda, bir Arduino Uno mikrodenetleyici kart kullanılmıştır. Arduino, bir giriş/çıkış (I/O) kartı olarak son yıllarda yaygın olarak kullanılan elektronik bir donanım ve yazılım temelli önemli bir mikrodenetleyicidir.

Sera prototipine akıllı sıfatının eklenmesinde en büyük payı olan elemanlar serada kullanılan sensörlerdir. Sensörler, algılayıcı olarak da ifade edilebilir. Akıllı cihazların ortam değişkenlerinin kontrol edilmesinde sensörler önemli rol oynamaktadır.

Sensörlerden alınan bilgiler ortamın sıcaklık, nem, ısı, basınç gibi değerlerinin analiz edilebilmesi amacıyla yazılımlara sunulmaktadır. Bu bilgilerden de anlaşılacağı üzere sensörler sera içindeki ortamı anlamamızda bize yardımcı olacak duyu organlarımızdır. Çalışmamızda, sera içinde sıcaklık durumunu ölçmek için DHT11 sensörü kullanılmıştır.

Projemizde kullanılan diğer bir sensör ise toprak nem sensörüdür.

Hazırladığımız akıllı sera prototipin Android tabanlı mobil cihazlarla iletişimi ve manuel olarak kontrolü için bluetooth bağlantısı kullanılmıştır. Bu amaçla, HC-06 Arduino bluetooth sensörü kullanılmıştır.

Sera üzerinde biri büyük diğeri küçük olmak üzere hava akışını sağlayacak şekilde 2 adet kablolu plastik çarklı fan kullanılması planlanmıştır.

Projemizde kullandığımız sulama sisteminde 12V ile çalışan fırçasız dalgıç su pompası kullanılması planlanmıştır.

Ayrıca, seramik ısıtıcıya benzer bir seramik ısıtıcı lamba kullanılmıştır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sera prototipi üzerinde sensor kablolarının girişi çıkışı, havalandırma fanlarının konumu ve kabloların yerleşimi, ısıtıcı devrenin yerleşimi, sulama sisteminin konumu ve aydınlatma gibi dikkat edilmesi gereken birçok husus titiz bir şekilde planlanmıştır.



Şekil 1 Sera prototipi

Sera prototipinin üzeri Şekil 1’de görüldüğü gibi açılır kapanır şekilde yapılmıştır. Bu sayede, gerektiğinde üstü açılarak hem güneş ışığından hem de ortam sıcaklığından faydalanılabilmeye sağlanmıştır.

Sera zeminine köklerin zarar görmemesi için eşdeğer özelliklerde ponza taşından zemin hazırlanmıştır. Hazırlanan zemin üzerine eş değer nitelikte toprak ve bir miktar solucan gübresi eklenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda seraya, yaklaşık olarak aynı ortamlarda yetişen domates, biber ve salatalık bitkileri ile bunlarla yaklaşık aynı değerlerde yetişen begonya çiçeği ekilmesinin gözlem açısından uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

4. Sonuç

Bitkilerin ekiminden sonra ilk fotoğraflar Şekil 2’de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Bu kapsamda çalışmalar devam ettirilmiştir. Ayrıca, ilk sulamalar can suyu olması amacıyla el ile yapılmıştır.



Şekil 2 Belirlenen düzene uygun olarak ekilen bitkiler

Hazırlanan prototipe uygun olarak oluşturulan sistem tüm bileşenlerin eklenmesiyle yazılımla kontrol edilebilir hale getirilmiştir.

Sistemin kontrolü amacıyla serayı çalışır hale getirebilmek için Arduino ile yazılım kontrolü sağlanmıştır. Yazılım için Arduino arayüzü kullanılmış ve sistemin otonom olarak çalışması sağlanmıştır. Yazılım oluşturulurken Arduino IDE arayüzü kullanılmıştır. Ayrıca, sistem istendiğinde Android tabanlı mobil cihazlar ile manuel çalışmasını sağlamak için bir arayüz oluşturulmuştur.



Şekil 3 Bağlantı sağlandıktan sonra verilerin okunarak uygulamada gösterilmesi

Sistemin sensörlerden aldığı değerlere bağlı olarak şekil 3 de görüldüğü gibi su pompasını, ısıtma ve soğutma sistemlerini gerektiğinde duruma göre Açık/Kapalı konumuna getirerek çalıştırması ve LCD panelin sürekli ekrana bilgileri yansıtması sağlanmıştır.

Elde edilen sonuca göre hazırlanan Akıllı Sera, begonya, domates ve biber gelişiminde olumlu olarak fark yaratmıştır. Salatalık ise saksıda daha çok büyümüştür. Yaptığımız çalışmada, bitkilerin akıllı serada özellikle daha canlı olduğunu görme imkânımız olmuştur. Bu da verimin akıllı serada olumlu bir şekilde etkileneceğini göstermektedir.

Tüm bunların yanında, Akıllı Sera sistemimizin gerek kontrol edilebilirliği gerekse kullanışlı olması açısından faydalı bir çalışma olarak görülmüştür. Sistemin hem manuel hem de otonom olarak çalışabilir olması serayı kontrol eden kişi açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca, seraya uzaktan erişimin olması da uzaktan kontrol sağlayarak dilediği müdahaleyi yapma fırsatı bulmuştur. Bu sayede sistemin belli bir rutin dışında kontrol edilmesi gerektiğinde manuel kullanımı mümkün olmaktadır.

Kaynakça

- [1] Sari, I.A., Lestari, A.N.H.D., 2018, “Smart Greenhouse sebagai Media Pembibitan Kentang Granola Kembang Berbasis Mikrokontroler”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan, Vol. 02 No. 01, ISSN: 2581-0049.
- [2] Benyezza, H., Bouhedda, M., Djellout, K., 2018, “Smart Irrigation System Based Thingspeak and Arduino”, 2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS 2018), Algeria.
- [3] Azaza, M., 2016, “Smart green house fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring”, ISA Transactions 61, 297–307.
- [4] Singh, P., Saikia, S., 2016, “Arduino-Based Smart Irrigation Using Water Flow Sensor, Soil Moisture Sensor, Temperature Sensor and ESP8266 WiFi Module”, 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology.
- [5] Shirsath, D.O., Kamble, P., Mane, R., Kolap, A., More, R.S., 2017, “IOT Based Smart Greenhouse Automation Using Arduino”, International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJRCST), ISSN: 2347-5552, Volume-5, Issue-2, March 2017.
- [6] Arvindan, A. N., Keerthika, D., 2016, “Experimental Inverstigation Of Remote Control Via Android Smart Phone Of Arduino-Based Automated Irrigation System Using Moisture Sensor”, 3rd International Conference on Electrical Energy Systems.



Premature Birth Detection from EHG signals

Ahmet Sağlam^{1*}, Ümit Şentürk², İbrahim Yücedağ³

^{1*} Amasya University, Merzifon Vocational School, Amasya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2616-8253), ahmet.saglam@amasya.edu.tr

² Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Bolu, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9610-9550),
umit.senturk@ibu.edu.tr

³ Duzce University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Duzce, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2975-7392), ibrahimyucedag@duzce.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014179)

ATIF/REFERENCE: Sağlam, A., Şentürk, Ü. & Yücedağ, İ. (2021). Premature Birth Detection from EHG signals. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1283-1287.

Abstract

Premature birth is one of the major problems worldwide. Different methods have been researched and used to detect preterm birth from past to present. The most commonly used ones are; The tocodynamometer device is Transvaginal Cervix Length, Bishop Score and ElectroHysteroGram (EHG) signal. Studies have shown that it is widely used in estimating the risk of preterm birth using EHG signals. In the studies, feature extraction was made from EHG signals and preterm birth risk was estimated with various regression algorithms. In this study, the SMOTE algorithm in the methods used in the detection of preterm birth with EHG signals was examined and compared. As a result, it has been seen that the SMOTE algorithm is effective in reaching the result in all methods. In this study, the best result was obtained with the CNN algorithm.

Keywords: EHG, preterm birth, machine learning, deep neural networks, CNN.

EHG sinyallerinden Erken Doğum Tespiti

Öz

Erken doğum dünya genelinde büyük problemlerden biridir. Geçmişten günümüze kadar erken doğumu tespit etmek amacıyla farklı yöntemler araştırılmış ve kullanılmıştır. En yaygın kullanılanları ise; Tokodinamometre cihazı, Transvajinal Serviks Uzunluğu, Bishop Skoru ve ElectroHysteroGram (EHG) sinyalidir. Yapılan araştırmalar, EHG sinyalleri kullanılarak Erken doğum riskinin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanıldığı gözlenmiştir. Çalışmalarda, EHG sinyallerinden öznelik çıkartımı yapıp, çeşitli regresyon algoritmaları ile Erken doğum riski tahmin edilmiştir. Bu çalışmada, EHG sinyalleri ile erken doğum tespitinde kullanılan yöntemlerde SMOTE algoritması incelenmiş ve kıyaslaması yapılmıştır. Sonuç olarak tüm yöntemlerde SMOTE algoritmasının sonuca ulaşmada etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, en iyi sonuç CNN algoritması ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: EHG, erken doğum, makine öğrenmesi, derin sinir ağları, CNN.

* Corresponding Author: ahmet.saglam@amasya.edu.tr

1. Introduction

The average gestation period in humans is between 37 and 42 weeks. Births occurring between these weeks are called term births (Degbedzui & Yuksel, 2020). Preterm birth includes births between 24 and 37 weeks. Births exceeding 42 weeks are defined as postterm births (Callahan & Caughey, 2013). According to the data of the World Health Organization, 1 out of every 10 babies or 15 million babies a year are born prematurely. This is a serious problem, as preterm birth accounts for approximately 50% of perinatal deaths of infants (Kenny & Myers, 2020). According to the data of the Ministry, it is stated that this situation is more than 180 thousand every year in our country. Approximately 7,500 of these babies die (Alyanak, 2020).

The inadequacy of methods used to accurately diagnose preterm birth remains one of the biggest unresolved obstetric problems (Lučovnik et al., 2016). Although the estimation of preterm birth is a very difficult task, it is important to detect it as early as possible (Yochum et al., 2016).

However, estimating preterm birth based on these factors alone is far from certain. Analysis of an electromyogram (EMG) of the uterus recorded from the abdominal wall of a pregnant woman is used to better predict preterm delivery. EMG aka ElectroHysteroGram (EHG); consists of signals resulting from discontinuous bursts of action potential due to spontaneous electrical discharges from the uterine muscle (Fele-Žorž et al., 2008). It has been found that EHG records can diagnose labor more accurately than other traditional clinical methods by applying different estimation methods to predict preterm labor (Jager et al., 2018; Maner et al., 2003).

1.1. Uterine Electrosterograph (EHG)

Uterine Electrosterograph (EHG) provides a measurement of abdominal wall deformations with the effect of uterine contractions. It measures only the rate at which contractions occur and is very sensitive to abdominal wall movements (Léman et al., 1999). EHG is the signal recorded on the abdominal surface and represents the electrical activity that triggers the mechanical contraction of the myometrium (Alamedine, 2015). The EHG records the electrical activity of uterine muscle cells and therefore reflects the direction of electrical control that induces contractile activity in the uterus (Muszynski, 2019).

In the context of EHG analysis, raw signals are obtained from the myometrial muscle using bipolar electrodes attached to the abdominal surface (Greenough, 2013). The results showed that EHG may differ from woman to woman. This depends on whether she will give birth on time or prematurely (Idowu, 2017). Raw EHG signals need preprocessing before analysis or classification. Preprocessing may include filtering, noise removal, wavelet shrinkage or transformation, and automatic detection of bursts (Maner et al., 2003; Léman et al., 1999; Verdenik et al., 2001).

1.2. Related Studies

Biomedicine is the application of engineering principles to biology and medicine to improve the quality and effectiveness of patient care. Although the studies on the field are based on many years, studies using machine learning algorithms of EHG signals have gained intensity in recent years.

Khalil and Duchene (2000), presented a sequential detection/classification approach applied to uterine EMG in their

study. They stated that the dynamic cumulative sum (DCS) algorithm gave successful results. Euliano et al. (2013), compared TOCO, EHG, and alternative invasive intrauterine pressure catheter (IUPC) methods. The study was conducted with data from 73 subjects and EHG gave better results than other methods in terms of Contractions Consistency Index (CCI). Alexandersson (2015), created a database to provide public access to 16-electrode EHG data in his study. In the study, 122 EHG signals belonging to the years 2008-2010 were recorded in Iceland. These records showed that EHG data, a pregnant woman's body mass index, age, and obstetric history can influence the frequency components of contractions.

Ye-Lin et al. (2014), extracted 11 features from EHG signals. These properties are spectral, temporal, and nonlinear. They investigated the classification performance with these 11 extracted features. 2-fold cross-validation, repeated 50 times, was applied across 3 classifiers, including Linear Discriminant Analysis (LDA), Quadratic Discriminant Analysis (QDA), and SVM with RBF kernel function. As a result of the study, the QDA classifier gave the best classification performance with 92.2% success. Ahmed et al. (2017), determined that the multivariate multiscale fuzzy entropy (MMFE) algorithm is superior to the multivariate multiscale entropy (MMSE) in both synthetic and real EHG signals. Chen and Hao (2017), presented a new method for feature extraction and classification of EHG signals based on Hilbert-Huang transform (HHT) and extreme learning machine (ELM).

The study of Idowu (2017), included the records of 262 women who gave birth in the normal period and 38 women who gave birth prematurely. Innovative signal processing techniques and the application of machine learning algorithms in the analysis of EHG signals are important in estimating the risk of preterm birth. In his study, Levenberg-Marquardt trained Feed Forward Neural Network, Radial Basic Function Neural Network, and Random Neural Network classifiers were used. As a result, 91% sensitivity and 84% specificity values were obtained. The average error rate is 12%. Acharya et al. (2017), made a new proposal for automatic prediction of pregnant women who will give birth prematurely by using EHG signals. Eight different features were extracted in the study. These extracted features were analyzed with the vector machine (SVM) classifier for automatic differentiation and as a result, 96.25%, 95.08% sensitivity, and 97.33% specificity were obtained.

Muszynski (2019), examined the estimation of the risk of preterm birth by analyzing electrical parameters from EHG. The results obtained make it possible to improve the estimation of the risk of preterm birth relative to routinely used instruments. Degbedzui and Yuksel (2020), proposed a new method for diagnosing preterm labor without treatment based on the classification of ElectrohysteroGraphy (EHG) signals. By constructing elements of a feature vector representing the time-varying spectral content of the EHG signal, the centroid frequencies of the frames were calculated. It has been shown that the proposed approach outperforms other methods and can be used effectively in the classification of EHG signals for term-preterm diagnosis.

2. Material and Method

In the study, Physionet's Term-Preterm ElectroHysteroGram DataBase (TPEHG DB) online signal database created by Fele-Žorž et al. (2008) was used. The data set was created between

1997 and 2005. The records were recorded at the 22nd gestational week and 32nd gestational week of pregnant women. General information about the data set is given in Table 1.

Table 1. Birth information

	Quantity	Percentage(%)
Preterm birth	38	12,7
On-Time	262	87,3
Total	301	100,0

The data set consists of 300 records. While 38 of these records are preterm births, 262 are normal birth records. Each recording consists of 30 minutes of contractions.

Raw EHG signals need preprocessing before analysis or classification. During the preprocessing, filtering was applied to the raw data and the base correction was provided and the noise caused by the noise was removed. The steps performed during the study are given in Figure 1. The chart showing the method used in the study is as follows.

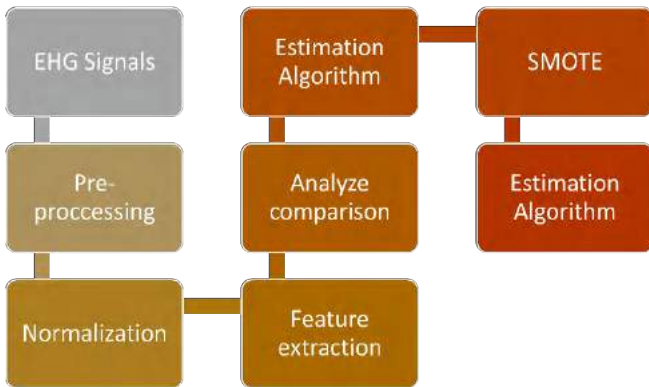


Figure 1. The chart the method used in the study

3. Results and Discussion

First, raw data were prepared. The Noise was reduced by base correction and normalization was applied. The features used in the literature were examined and related features were prepared. The results were obtained by using the prepared features and estimation algorithms. The irregularity in the data set was removed by using the SMOTE algorithm, and the estimation algorithms were performed again and the results were compared. The attributes used are listed in Table 2.

Among the attributes given in Table 2, Median Frequency, Peak Frequency, Root Mean Square Level, Sample Entropy and Shannon Entropy have been used in different previous studies. Average Frequency, Peak Magnitude RMS ratio, Band Power, Power Bandwidth and Log Energy Entropy were tested in this study.

Table 2. Prepared Attributes

Attributes
Average Frequency
Median Frequency
Peak Frequency
Peak Magnitude RMS ratio
Root Mean Square Level
Band Power
Power Bandwidth
Sample Entropy
Shannon Entropy
Log Energy Entropy

Before the comparison of the estimation algorithms used in the study, the data set resulting from the application of the SMOTE algorithm is given in Table 3.

Table 3. Birth Information after SMOTE algorithm

	Quantity	Percentage(%)
Preterm birth	304	53,71
On-Time	262	46,29
Total	566	100,0

After the applied SMOTE algorithm, the unbalanced data set was tried to be equalized. After the SMOTE algorithm, the preterm birth rate, which was 12%, increased to 53.71%, and proportionality was approached. The results obtained as a result of the estimation algorithms are compared in Table 4.

Table 4. Results of the estimation algorithms used

	Classified Instances	
	Normal Dataset	SMOTE
Naive Bayes	29,33%	62,37%
SVM	87,33%	65,19%
Kstar	78,33%	85,34%
Random Forest	87,33%	87,28%
Decision Table	87,33%	73,50%
KNN	80,00%	84,10%
CNN	87,67%	93,10%

When the algorithms used in Table 4 are examined, the best result is CNN (Convolution Neural Network) algorithm with 87.67%, while SVM, Random Forest, and Decision Table algorithms take second place with a success rate of 87.33%. It is also observed that after the SMOTE algorithm, it improves the result in algorithms other than Decision Table and SVM algorithms. As a result of the SMOTE algorithm, the best performance is in the CNN algorithm with 93.10%. While Random Forest ranked second with a success rate of 87.28%, the rate dropped significantly after the SVM algorithm and the SMOTE algorithm.

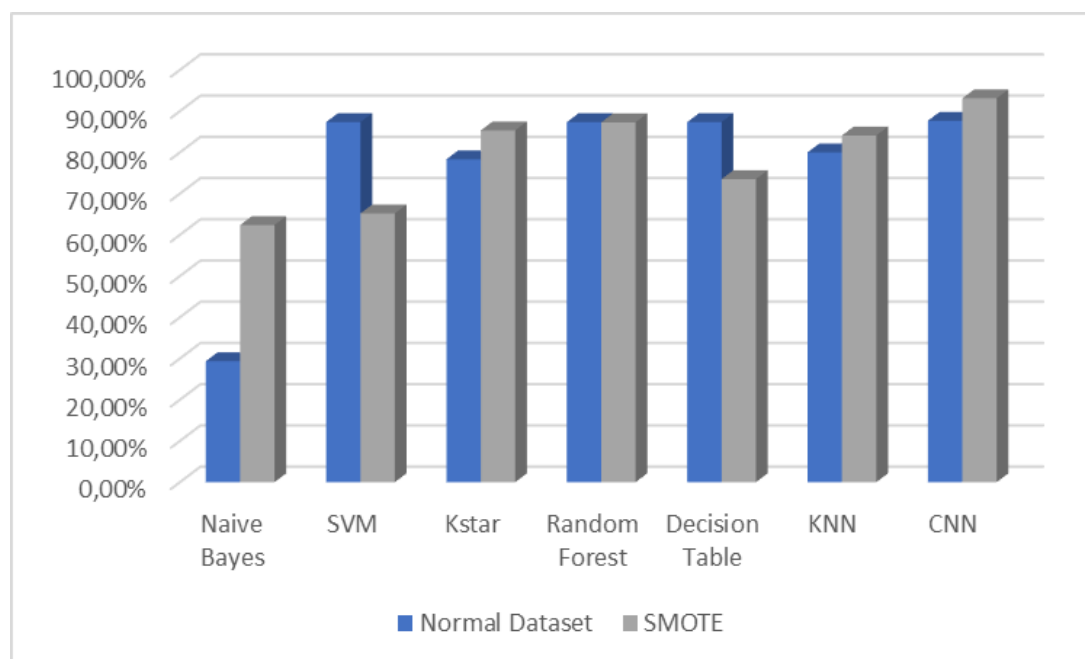


Figure 2. The result graph of the prediction algorithms used

When Figure 2 is examined, it is seen that the SMOTE algorithm, which improves all algorithms except the SVM algorithm, improves the Naive Bayes algorithm the most. There is no visible change in the Random Forest algorithm. When the graph is examined, the best performance in the Normal data set was SVM, Random Forest, Decision Table and CNN algorithms, while the CNN algorithm gave the best result as a result of the SMOTE algorithm.

4. Conclusions and Recommendations

In the literature review, linear methods were superior to nonlinear methods in differentiating normal birth and preterm birth based on non-stationary uterine EMG signals.

Despite this, it seems that there is still a large area of study to improve the accuracy of the prediction of preterm birth, which can significantly increase the survival rates of preterm babies.

In the study, EHG signals were preprocessed, and then the results were obtained with the extracted features and estimation algorithms. In addition, the SMOTE algorithm was used to eliminate the irregularity in the data set and the results were analyzed in the re-estimation algorithms. It has been seen that the SMOTE algorithm improves all algorithm results. As a result of the analysis, it was determined that the CNN algorithm gave the best result. The created CNN Algorithm is a single LSTM algorithm. As the number of LSTMs increases, its performance needs to be investigated.

References

Acharya, U. R., Sudarshan, V. K., Rong, S. Q., Tan, Z., Lim, C. M., Koh, J. E., ... & Bhandary, S. V. (2017). Automated detection of premature delivery using empirical mode and wavelet packet decomposition techniques with uterine electromyogram signals. *Computers in biology and medicine*, 85.

Ahmed, M. U., Chanwimalueang, T., Thayyil, S., & Mandic, D. P. (2017). A multi variate multiscale fuzzy entropy algorithm

with application to uterine EMG complexity analysis, *Entropy*, 19(1), doi: 10.3390/e19010002.

Alamedine, D. (2005). Election of EHG parameter characteristics for the classification of uterine contractions, PHD thesis, Université Libanaise.

Alexandersson, Á. (2015). Conceiving, compiling, publishing and exploiting the 'Icelandic 16-electrode EHG database', PHD Thesis. Háskólinn í Reykjavík.

Alyanak, Ç. M. (2020). Türkiye'de her 10 bebekten biri hayata erken başlıyor, <https://www.aa.com.tr/tr/saglik/prof-dr-koc-turkiyede-her-10-bebekten-biri-hayata-erken-basliyor/1306225> (erişim Kas. 17, 2020).

Callahan T. & Caughey, A. B., (2013). *Obstetrics & Gynecology Sixth Edition*, Lippincott Williams & Wilkins: U.S.A.

Chen L. & Hao, Y. (2017). Feature Extraction and Classification of EHG between Pregnancy and Labour Group Using Hilbert-Huang Transform and Extreme Learning Machine, *Comput. Math. Methods Med.*, doi: 10.1155/2017/7949507.

Degbedzui, D. K. & Yüksel, M. E. (2020). Accurate diagnosis of term-preterm births by spectral analysis of electrohysterography signals, *Comput. Biol. Med.*, 119, doi: 10.1016/j.compbimed.2020.103677.

Euliano, T. Y., Nguyen, M. T., Darmanjian, S., McGorray, S. P., Euliano, N., Onkala, A., & Gregg, A. R. (2013). Monitoring uterine activity during labor: a comparison of 3 methods. *American journal of obstetrics and gynecology*, 208(1), doi: 10.1016/j.ajog.2012.10.873.

Fele-Žorž, G., Kavšek, G., Novak-Antolič, Ž., & Jager, F., (2008). A comparison of various linear and non-linear signal processing techniques to separate uterine EMG records of term and pre-term delivery groups, *Med. Biol. Eng. Comput.*, 46 (9), doi: 10.1007/s11517-008-0350-y.

Greenough, A. (2013). Long-term respiratory consequences of premature birth at less than 32 weeks of gestation, *Early Hum. Dev.*, 89, doi: 10.1016/j.earlhumdev.2013.07.004.

Idowu, I. O. (2017). *Classification Techniques Using EHG Signals for Detecting Preterm Births*, PHD thesis, Liverpool John Moores University.

- Jager, F., Libenšek, S., & Gersak, K., (2018). Characterization and automatic classification of preterm and term uterine records, *PLoS One*, 13 (8), doi: 10.1371/journal.pone.0202125.
- Kenny L. C. & Myers, J. E. (2020). *OBSTETRICS | 20th EDITION* by Ten Teachers, Lippincott Williams & Wilkins: U.S.A.
- Khalil M. & Duchêne, J. (2000). Uterine EMG analysis: A dynamic approach for change detection and classification, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 47(6), doi: 10.1109/10.844224.
- Léman, H., Marque, C. & Gondry, J. (1999). Use of the electrohysterogram signal for characterization of contractions during pregnancy, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 46(10), doi: 10.1109/10.790499.
- Lucovnik, M., Chambliss, L. R., Blumrick, R., Balducci, J., Gersak, K., & Garfield, R. E. (2016). Effect of obesity on preterm delivery prediction by transabdominal recording of uterine electromyography, *Taiwan. J. Obstet. Gynecol.*, 55 (5), doi: 10.1016/j.tjog.2015.05.005.
- Maner, W. L., Garfield, R. E., Maul, H., Olson, G., & Saade, G. (2003). Predicting term and preterm delivery with transabdominal uterine electromyography, *Obstet. Gynecol.*, 101(6), doi: 10.1016/S0029-7844(03)00341-7.
- Muszynski, L.C. (2019). Évaluation de l'électrohystérogramme pour la surveillance et le diagnostic des femmes à risqué d'accouchement premature, PHD thesis, Université de Technologie de Compiègne.
- Verdenik, I., Pajntar, M., & Leskošek, B. (2001). Uterine electrical activity as predictor of preterm birth in women with preterm contractions, *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.*, 95(2), doi: 10.1016/S0301-2115(00)00418-8.
- Ye-Lin, Y., Garcia-Casado, J., Prats-Boluda, G., Alberola-Rubio, J., & Perales, A. (2014). Automatic identification of motion artifacts in EHG recording for robust analysis of uterine contractions, *Comput. Math. Methods Med.*, doi: 10.1155/2014/470786.
- Yochum, M., Laforêt, J., & Marque, C., (2016). An electro-mechanical multiscale model of uterine pregnancy contraction, *Comput. Biol. Med.*, 77, doi: 10.1016/j.compbimed.2016.08.001



The Curvature Property of a Linear Dynamical System

Tuna Bayraktar^{1*}, Zahide Ok Bayraktar²

^{1*} Trakya University, Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Edirne, Turkey, (ORCID: 0000-0001-8777-5842), tunabayraktar@gmail.com

² Ege University, Faculty of Sciences, Department of Physics, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2187-2102), zahideok@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014593)

ATIF/REFERENCE: Bayraktar, T. & Ok Bayraktar, Z. (2021). The Curvature Property of a Linear Dynamical System. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1288-1290.

Abstract

In this work a two-dimensional smooth autonomous dynamical system is regarded as a three-dimensional Riemannian manifold and it is shown that the scalar curvature of a linear dynamical system $dx/dt = ax + by$, $dy/dt = cx + dy$ is non-positive. The manifold is scalar-flat iff $b = -c$ and $a = d = 0$.

Keywords: Linear dynamical systems, Riemann curvature tensor, scalar curvature

Bir Lineer Dinamik Sistemin Eğrilik Özelliği

Öz

Bu çalışmada iki-boyutlu, düzgün, otonom bir dinamik sistem üç-boyutlu bir Riemann manifoldu olarak değerlendirilmiş ve bir $dx/dt = ax + by$, $dy/dt = cx + dy$ lineer dinamik sisteminin skaler eğriliğinin pozitif olmadığı gösterilmiştir. Manifold skaler-düzdür ancak ve ancak $b = -c$ ve $a = d = 0$.

Anahtar Kelimeler: Lineer dinamik sistemler, Riemann eğrilik tensörü, skaler eğrilik.

* Corresponding Author: tunabayraktar@gmail.com

1. Introduction

A smooth autonomous dynamical system (SADS) on a two-dimensional manifold $N = (D; x, y)$, where D is a connected open set in \mathbb{R}^2 endowed with coordinates (x, y) , is given by a system of first order ordinary differential equations

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f(x, y) \\ \frac{dy}{dt} &= g(x, y) \end{aligned} \tag{1}$$

such that f and g are smooth functions on N . The system (1) defines a smooth vector field

$$\xi = f(x, y)\partial_x + g(x, y)\partial_y \tag{2}$$

on N which is a smooth section of the tangent bundle TN , i.e. is a mapping $\xi: N \rightarrow TN$ defined to be

$$\xi(x, y) = (x, y, \dot{x} = f(x, y), \dot{y} = g(x, y)).$$

Since the rank of $d\xi$, the differential of ξ , equals 2 on N , a SADS may be regarded as a surface in TN .

In this work, to capture all the information about the dynamics, we identify a SADS as a three-dimensional manifold $M = I \times N$ with local coordinates (t, x, y) . Here t is a coordinate function on an open interval $I \subset \mathbb{R}$ and stands for the time coordinate. This consideration gives rise to define a SADS as a submanifold of the first-order jet bundle $J^1(\mathbb{R}, N)$ of maps $\mathbb{R} \rightarrow N$ [1, 2].

This paper is devoted to the investigation of the curvature property of a linear system

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= ax + by \\ \frac{dy}{dt} &= cx + dy, \end{aligned} \tag{3}$$

where $a, b, c, d \in \mathbb{R}$, within the context of Riemannian geometry. By means of the method of moving frames we evaluate the connection 1-form and the curvature 2-form of the Levi-Civita connection in TM compatible with the Riemannian metric which is defined by the sum of squares of the one-forms

$$\begin{aligned} \omega^1 &= dt \\ \omega^2 &= dx - (ax + by)dt \\ \omega^3 &= dy - (cx + dy)dt, \end{aligned}$$

and show that the scalar curvature of the connection is non-positive and the curvature vanishes if and only if $b = -c$ and $a = d = 0$.

2. Riemannian structure and the curvature

The solutions of (3) are identified with the solutions of the Pfaffian system

$$\omega^2 = 0, \quad \omega^3 = 0$$

such that on a solution curve we have $\omega^1 \neq 0$. The column vector $\omega = (\omega^1, \omega^2, \omega^3)^t$, where t denotes the transposition, defines a coframe on M which is dual to the frame of the vector fields

$$e_1 = \frac{\partial}{\partial t} + f \frac{\partial}{\partial x} + g \frac{\partial}{\partial y}, \quad e_2 = \frac{\partial}{\partial x}, \quad e_3 = \frac{\partial}{\partial y}.$$

If we introduce the Riemannian metric on M

$$ds^2 = \sum_i \omega^i \otimes \omega^i, \tag{4}$$

then M becomes a Riemannian manifold and the frame $e = (e_1, e_2, e_3)$ forms an orthonormal frame. Let ∇ be the connection compatible with the Riemannian metric (4). The structure equations for the coframe ω are given by

$$\begin{aligned} d\omega^1 &= 0 \\ d\omega^2 &= a\omega^1 \wedge \omega^2 + b\omega^1 \wedge \omega^3 \\ d\omega^3 &= c\omega^1 \wedge \omega^2 + d\omega^1 \wedge \omega^3. \end{aligned}$$

As it is considered in [4], the $\mathfrak{so}(3, \mathbb{R})$ -valued connection form is obtained by solving the system of equations

$$d\omega^i = -\theta_j^i \wedge \omega^j, \quad \theta_j^i = -\theta_i^j.$$

The unique 1-form

$$\theta = \begin{pmatrix} 0 & \theta_2^1 & \theta_3^1 \\ -\theta_2^1 & 0 & \theta_3^2 \\ -\theta_3^1 & -\theta_3^2 & 0 \end{pmatrix}$$

satisfying the structure equations is obtained by the Cartan's Lemma, where

$$\begin{aligned} \theta_2^1 &= -a\omega^2 - \frac{1}{2}(b+c)\omega^3 \\ \theta_3^1 &= -\frac{1}{2}(b+c)\omega^2 - d\omega^3 \\ \theta_3^2 &= -\frac{1}{2}(b-c)\omega^1. \end{aligned}$$

The 1-form θ is called $\mathfrak{so}(3, \mathbb{R})$ -valued connection form of the Levi-Civita connection.

The curvature 2-form of the Levi-Civita connection is defined by the anti-symmetric matrix of two-forms:

$$\Omega_j^i = d\theta_j^i + \sum_k \theta_k^i \wedge \theta_j^k, \quad \Omega_j^i = -\Omega_i^j.$$

In terms of ω^i 's, the components of the Riemannian curvature tensor are determined by

$$\Omega_j^i = \sum_{k < l} R_{jkl}^i \omega^k \wedge \omega^l.$$

For the details on a connection in an arbitrary vector bundle we refer to [3]. By a direct calculation we obtain

$$\begin{aligned} \Omega_2^1 &= -\frac{1}{2} \left(2a^2 + \frac{3}{2}c^2 + bc - \frac{1}{2}b^2 \right) \omega^1 \wedge \omega^2 \\ &\quad - (ab + cd)\omega^1 \wedge \omega^3 \\ \Omega_3^1 &= -(ab + cd)\omega^1 \wedge \omega^2 \\ &\quad - \frac{1}{2} \left(\frac{3}{2}b^2 + bc + 2d^2 - \frac{1}{2}c^2 \right) \omega^1 \wedge \omega^3 \end{aligned}$$

$$\Omega_3^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} (b+c)^2 - 2ad \right) \omega^2 \wedge \omega^3.$$

The independent nonzero components of the Riemann curvature tensor are

$$R_{212}^1 = -\frac{1}{2} \left(2a^2 + c(b+c) - \frac{1}{2}(b^2 - c^2) \right),$$

$$R_{213}^1 = -(ab + cd),$$

$$R_{313}^1 = -\frac{1}{2} \left(b(b+c) + 2d^2 + \frac{1}{2}(b^2 - c^2) \right),$$

$$R_{323}^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} (b+c)^2 - 2ad \right).$$

At a point, the sectional curvatures of the two dimensional subspaces spanned by (e_1, e_2) , (e_1, e_3) and (e_2, e_3) are given respectively by R_{212}^1 , R_{313}^1 , and R_{323}^2 . The scalar curvature is defined by the trace $R = \sum_{i,j} R_{ij}^i$ and is found to be $R = 2(R_{212}^1 + R_{313}^1 + R_{323}^2)$. Note that the scalar curvature is an invariant, that is, it does not depend on the choice of an orthonormal frame. It follows that

$$R = - \left(2a^2 + \frac{3}{2}c^2 + bc - \frac{1}{2}b^2 + \frac{3}{2}b^2 + bc + 2d^2 - \frac{1}{2}c^2 - \frac{1}{2}b^2 - \frac{1}{2}c^2 - bc + 2ad \right).$$

By arranging the terms we obtain

$$2R = -((b+c)^2 + (2a+d)^2 + 3d^2).$$

As a result we have the following:

Theorem 1 *The Riemannian manifold corresponding to a linear system*

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= ax + by \\ \frac{dy}{dt} &= cx + dy, \end{aligned}$$

has non-positive scalar curvature. The scalar curvature vanishes if and only if $b = -c$ and $a = d = 0$.

We say that the Riemannian manifold is flat iff the curvature tensor identically vanishes. Substituting $b = -c$ and $a = d = 0$ into the components of the Riemannian curvature tensor yields the following:

Corollary 2 *The Riemannian manifold corresponding to a linear system*

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \lambda y \\ \frac{dy}{dt} &= -\lambda x, \end{aligned}$$

where $\lambda \in \mathbb{R}$, is flat.

References

- [1] Vassiliou, P. J. (2000). Introduction: Geometric approaches to differential equations. In Vassiliou P. J. and Lisle I. G. (Eds.), *Geometric approaches to differential equations* (pp. 1-15). Australian Mathematical Society Lecture Series. 15, Cambridge University Press, Cambridge UK.
- [2] Saunders, D. J. (1989). *The Geometry of Jet Bundles*. Cambridge University Press, Cambridge UK.
- [3] Morita, S. (2001). *Geometry of Differential Forms*. American Mathematical Society, Providence, RI, USA.
- [4] Ok Bayrakdar, Z., Bayrakdar, T. (2019). A geometric description for simple and damped harmonic oscillators, *Turk J Math*, 43: 2540 – 2548.



Kültürel Mirasın Kullanıcı Merkezli Etkileşimli Deneyimi için Bütünsel Bir Uygulama: 3B Baskı, Artırılmış Gerçeklik ve Web Tabanlı Görselleştirme Kombinasyonu

Ahmet Uslu^{1*}

^{1*} Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Kütahya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8745-423X), ahmet.uslu1@dpu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014904)

ATIF/REFERENCE: Uslu, A. (2021). Kültürel Mirasın Kullanıcı Merkezli Etkileşimli Deneyimi için Bütünsel Bir Uygulama: 3B Baskı, Artırılmış Gerçeklik ve Web Tabanlı Görselleştirme Kombinasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1291-1295.

Öz

Günümüzde donanım, yazılım, 3B dijital model üretimi ve sunumu alanındaki son teknolojik gelişmeler, insanların kültürel mirasa erişimini sağlamak için çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Fotogrametri, 3B dijital modelleme, 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı sunum teknolojileri, kültür varlıkları ile ilgili olarak kullanıcı etkileşimini geliştirme bakımından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, fotogrametrik modellere dayalı 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme uygulamaları için yenilikçi bir yaklaşım ve iş akışı geliştirilerek kültürel miras bağlamında kullanıcı merkezli sanal, sürükleyici ve etkileşimli bir deneyim yaşatılması amaçlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme sinerjisinin kültürel mirasın etkileşimli olarak deneyimlenmesi ve ayrıntılı keşfi açısından büyük bir imkân sağladığını göstermiştir. Çalışma kültürel mirasın korunması, gelecek nesillere aktarılması ve sanal erişilebilirliği için insan-yenilikçi teknoloji etkileşimine değerli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kültürel miras, 3B modelleme, 3B baskı, Artırılmış gerçeklik, Web tabanlı görselleştirme.

A Holistic Application for a User-Centered Interactive Experience of Cultural Heritage: A Combination of 3D Printing, Augmented Reality and Web-Based Visualization

Abstract

Today, the latest technological developments in the field of hardware, software, production and presentation of 3D digital models provide various opportunities to ensure people's access to cultural heritage. Photogrammetry, 3D digital modeling, 3D printing, augmented reality and web-based presentation technologies provide significant advantages in terms of improving user interaction in relation to cultural assets. In this study, based on photogrammetric model, 3D printing, augmented reality and web-based visualization of cultural heritage in the context of an innovative approach for applications and workflow by improving user-centric virtual, immersive and interactive experience that is intended to maintain. The results of the study have shown that the synergy of 3D printing, augmented reality and web-based visualization provides a great opportunity for interactive experience and detailed exploration of cultural heritage. The study makes valuable contributions to human-innovative technology interaction for the protection of cultural heritage, its transfer to future generations and its virtual accessibility.

Keywords: Cultural heritage, 3D modelling, 3D printing, Augmented reality, Web-based visualization.

* Sorumlu Yazar: ahmet.uslu1@dpu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde donanım, yazılım, 3B dijital model üretimi ve sunumu alanındaki son teknolojik gelişmeler, kültürel mirasın uzaktan keşfedilmesine imkân sağlamaktadır (Fernández-Palacios ve ark., 2017). Lazer tarama ve fotogrametri gibi gerçekliğe dayalı 3B ölçme teknikleri kullanılarak belgeleme, arkeolojik ve mimari analizler, görselleştirme, eğitim amaçlı müze sergileri ve sanal turizm için ayrıntılı ve foto-gerçekçi 3B dijital modeller üretebilmektedir (Fernández-Palacios ve ark., 2017). 3B dijital modellerin artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, karma gerçeklik, 3B baskı ve web tabanlı görselleştirme gibi etkileşimli ortamlara entegrasyonu ile birlikte nesnelere alternatif erişim biçimi ve kullanıcılara sürükleyici yeni deneyimler sağlanabilir (Putra ve ark., 2016).

Son yıllarda kültürel miras bağlamında fotogrametri, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, karma gerçeklik, 3B baskı ve web tabanlı görselleştirme sinerjisi üzerine yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. Uslu ve Uysal (2017), araştırmalarında sanal müze uygulaması için arkeolojik eseri fotogrametri tekniği ile 3B modellemişler ve 3B modeli HTML 5-WEBGL kullanarak internet tarayıcısı üzerinde görselleştirmişlerdir. Aziz ve Siang (2014), UNESCO Dünya Mirası Listesinde yer alan Melaka'da kültürel mirasın korunması için bütünsel bir uygulama olarak artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik kombinasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Uslu ve Uysal (2020), bir arkeolojik eserin etkileşimli keşfi için fotogrametri tekniği ile mobil artırılmış gerçeklik ve web tabanlı sunum teknolojileri arasında bir kombinasyon oluşturmuşlardır. Uslu ve Uysal (2021), araştırmalarında sosyal medya platformu Flickr'da paylaşılan fotoğrafları kullanarak Afrodiasias Antik Kenti'nde bulunan Tetrapylon yapısını fotogrametri tekniği ile 3B modellemişler ve 3B modeli dijital erişim için sanal küre üzerinde web tabanlı görselleştirmişlerdir. Bozzelli ve ark. (2019), araştırmalarında kültürel mirasın kullanıcı merkezli etkileşimli deneyimi için entegre bir artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik projesi olan ArkaeVision'ı kullanıma sunmuşlardır. ArkaeVision projesi ile daha ilgi çekici ve kültürel açıdan nitelikli bir kullanıcı deneyimi sunarak kültürel mirasın keyfini çıkarmanın yeni bir yolunu sağlamayı amaçlamışlardır. Jung ve tom Dieck (2017), çalışmalarında kültürel miras alanlarındaki zenginleştirici ve sürükleyici ziyaretçi deneyimi için artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve 3B baskı kombinasyonunu uygulamışlardır.

Literatür araştırması neticesinde değer yaratma perspektifinden kültürel mirasın kullanıcı merkezli etkileşimli deneyimi için bütünsel bir uygulama olarak 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme kombinasyonu üzerine ülkemizde yapılmış herhangi bir bilimsel araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, fotogrametrik modellere dayalı 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme uygulamaları için bir yaklaşım ve iş akışı geliştirilerek kültürel miras bağlamında kullanıcı merkezli sanal, etkileşimli ve sürükleyici bir deneyim oluşturulması amaçlanmıştır. İş akışı, Kütahya ili, Merkez ilçesi, Zafer Meydanında yer alan tarihi Hürriyet Çeşmesi'ne uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı ve Çalışmanın Materyalleri

Çalışmada Kütahya ili, Merkez ilçesi, Zafer Meydanında yer alan tarihi Hürriyet Çeşmesi model olarak seçilmiştir (Şekil 1).



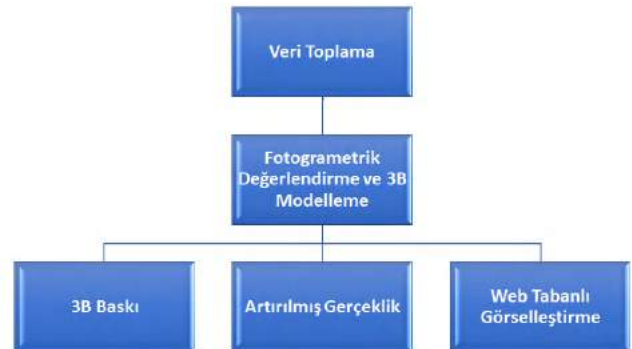
Şekil 1. Hürriyet Çeşmesi

Hürriyet Çeşmesi, üzerinde bulunan kitabesine göre II. Abdülhamid döneminde 1909 yılında inşa edilmiştir. Batılı ve Eklektik üslupta inşa edilen dikdörtgen plandaki Hürriyet Çeşmesi, 3,40 m yüksekliğe, 2,05 m genişliğe ve 1 m derinliğe sahiptir (Verim 2019).

Çalışmada, Hürriyet Çeşmesi'nin fotoğraflarının çekimi için Samsung ST150 dijital fotoğraf makinesi, çeşme üzerinde belirlenen kontrol noktalarının koordinat değerlerini ölçmek için Spectra Focus 6 totalstation cihazı, fotogrametrik değerlendirme ve 3B modelleme için Agisoft PhotoScan yazılımı, web tabanlı görselleştirme işlemleri için sanal küre platformu Cesium, artırılmış gerçeklik uygulaması için Augment (bulut tabanlı yazılım), 3B baskı öncesi gerekli kontrollerin ve düzenlemelerin yapılması için Autodesk Meshmixer yazılımı, 3B baskı parametrelerinin tanımlanması için Ultimaker Cura yazılımı ve son olarak 3B baskı işlemi için Prusa i3 3B yazıcı kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Çalışmanın yöntemi verilerin toplanması, fotogrametrik değerlendirme, 3B modelleme, 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme aşamalarından oluşmaktadır. Şekil 2' de çalışmanın yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın yöntemi.

3. Bulgular

3.1. Veri Toplama

Fotogrametri tekniği kullanarak 3B modelleme işlemi için planlı jeodezik ölçüm ve fotoğraf çekimi yapılmalıdır (Uslu ve Uysal, 2017). Bu bağlamda tarihi çeşme üzerinde işaretlenen kontrol noktalarının koordinat değerlerini ölçmek için öncelikle çeşmeyi tüm yönleriyle kapsayan lokal koordinat sisteminde kapalı bir jeodezik ağ oluşturulmuştur. Daha sonra çeşme üzerinde homojen dağılımlı 18 adet karakteristik kontrol noktası belirlenmiştir. Kontrol noktalarının ölçümünde Focus 6 reflektörsüz totalstation cihazı kullanılmıştır. Totalstation cihazının lazeri kullanılarak açı ve mesafe ölçmeleri aracılığıyla koordinat değerleri elde edilmiştir. Kontrol noktalarının ölçümünde sonra yüksek doğruluk ve çözünürlükte 3B model üretimi için Samsung ST150 dijital fotoğraf makinesi ile konvergent çekim esasları dikkate alınarak Hürriyet Çeşmesinin 105 adet fotoğrafı çekilmiştir. Fotoğrafların çekimi farklı açılardan, bindirmeli ve birbirlerine referans olacak şekilde gerçekleştirilmiş, kontrol noktalarının 105 adet fotoğrafta görünür ve seçilebilir olmasına dikkat edilmiştir.

3.2. Fotogrametrik Değerlendirme ve 3B Model Oluşturma

Fotogrametrik değerlendirme ve 3B modelleme işlemi için ilk olarak arazi çalışmaları aşamasında elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Fotoğraf veri seti olarak 105 adet fotoğraf kullanılmıştır. 105 adet fotoğrafın tamamı, 77,389 adet bağlantı noktası kullanılarak otomatik olarak hizalanmıştır. Daha sonra 3B modelin ölçeklendirilmesi amacıyla arazi çalışmaları sırasında koordinat değerleri ölçülen 18 adet kontrol noktası nokta atmak suretiyle işaretlenmiştir. Son olarak Hürriyet Çeşmesinin sırasıyla 3B yoğun nokta bulutu (3,629,106 adet) (Şekil 3), 3B yüzeyler (226,812 yüzey) ve 3B doku kaplı modeli oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 3. Hürriyet Çeşmesi'nin 3B yoğun nokta bulutu.

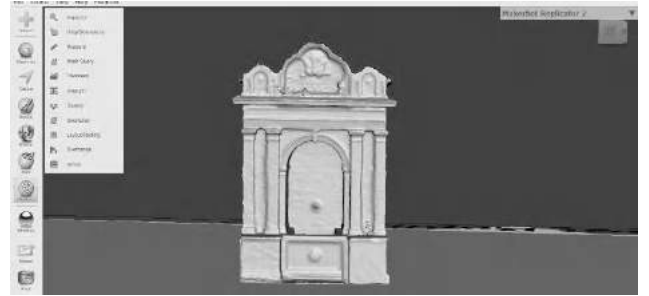


Şekil 4. Hürriyet Çeşmesi'nin doku kaplı 3B modeli.

Son olarak, 3B dijital model 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme araştırmalarında kullanılmak amacıyla “.dae” uzantılı model dosyası olarak kaydedilmiştir.

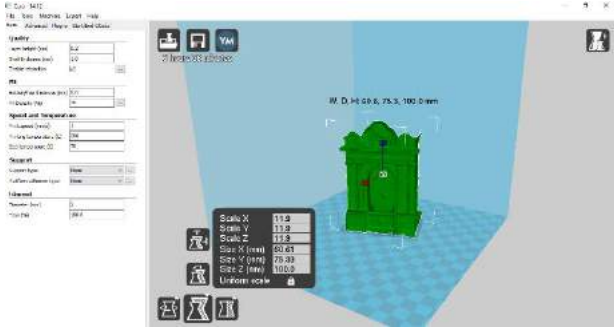
3.3. 3B Baskı Uygulaması

3B baskı öncesi gerekli kontrollerin ve düzenlemelerin yapılması amacıyla 3B model dosyası Autodesk Meshmixer yazılımına aktarılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Autodesk Meshmixer programında 3B baskı öncesi hazırlık işlemleri.

3B dijital modelin yüzeyi optimize edilerek model baskı işlemi öncesi hatasız hale getirilmiş ve “.stl” uzantılı dosya formatında dışarı aktarılmıştır. Bu işlemlerin ardından “.stl” uzantılı model dosyası 3B yazıcı programına (Ultimaker Cura) çağrılmış, yazdırma parametreleri tanımlanmış ve model yazdırma alanında uygun pozisyonda konumlandırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Ultimaker Cura programında 3B baskı öncesi hazırlık işlemleri.

Yazdırma işlemi Prusa i3 3B yazıcıda 6.6 cm x 7.5 cm x 10 cm (G,D,Y) ebatlarında, 50 mikron katman kalınlığı, % 70 doluluk oranı ile 93 gram gri renkli PLA (Polilaktik Asit) malzeme kullanılarak 6 saat 36 dakikada gerçekleştirilmiştir. Yazdırma işlemi sonucunda imal edilen model Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Hürriyet Çeşmesinin 3B yazıcıdan üretilmiş çıktısı.

3.3. Artırılmış Gerçeklik Uygulaması

Artırılmış Gerçeklik, kültürel mirası yayma, koruma ve görselleştirme sürecini teşvik etmek için etkili bir araçtır. Sanal içeriğin fiziksel bir ortama etkileşimli ve gerçek zamanlı olarak eklendiği bir teknolojidir (Bostancu ve ark., 2015). Mobil artırılmış gerçeklik uygulaması bulut tabanlı bir yazılım olan Augment’te gerçekleştirilmiştir. Augment, kullanıcıların çeşitli amaçlar için oluşturdukları modellerini, mobil cihazlar aracılığıyla gerçek ortamda ve gerçek zamanlı olarak 3B görselleştirmelerine olanak sağlayan Artırılmış Gerçeklik platformudur (URL-1). 3B modelleme aşamasında oluşturulan Hürriyet Çeşmesi’nin “.dae” uzantılı model dosyası, kaplama ve materyal dosyaları ile birlikte Augment uygulamasına yüklenmiştir. İlgili dosyalar sisteme kaydedildikten sonra Augment uygulaması, Hürriyet Çeşmesi’nin tanıtıcı bilgilerine ve 3B modeline dijital erişim sağlayan bir QR kod tanımlamıştır. Mobil cihaz üzerinde kurulu bir Artırılmış Gerçeklik uygulaması aracılığıyla QR kod taratılarak Hürriyet Çeşmesi’nin 3B modeli mobil Artırılmış Gerçeklik uygulamasında görüntülenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Hürriyet Çeşmesi’nin mobil Artırılmış Gerçeklik tabanlı görselleştirilmesi.

3.4. Web Tabanlı Görselleştirme Uygulaması

Web3B teknolojilerinde yaşanan son gelişmeler, kültür varlıklarının dijital olarak saklanmasında, korunmasında ve yaygınlaştırılmasında değerli katkılar sağlamıştır (Nishanbaev 2020). Sanal küre üzerinde 3B görselleştirme, insanların sanal ortamda coğrafi verilerle doğrudan etkileşime girmesine imkân sağlayan, etkili bir görselleştirme ortamı olarak ifade edilmiştir (Nishanbaev 2020). Hürriyet Çeşmesi’nin sanal dünya üzerinde 3B gösterimi için açık kaynaklı Cesium Ion platformu kullanılmıştır. Cesium Ion, sanal dünya üzerinde çeşitli analizler için etkileşimli 3B haritalar oluşturmak amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır (URL-2). 3B dijital modelinin web tabanlı sunumu için model dosyası, kaplama ve materyal dosyaları kullanıcı hesabı ile Cesium Ion platformuna aktarılmıştır. Hürriyet Çeşmesi’nin 3B dijital modeli coğrafi referanslı olduğu için yerküre üzerindeki konumuna yerleştirilmiştir. Şekil 9’da Hürriyet Çeşmesi’ne ait 3B modelin Cesium Ion yazılımında web tabanlı sunumu gösterilmiştir.



Şekil 9. Hürriyet Çeşmesi’nin Cesium Ion yazılımında web tabanlı görselleştirilmesi.

Cesium Ion bilgisayarda yada mobil cihazlarda kullanıcıların sanal dünya üzerinde yakınlaştırma, kaydırma, döndürme ve gezinme gibi çoklu işlevleri gerçekleştirmelerini ve 3B görselleştirmeyi herhangi bir web sayfasına entegre etmelerini de mümkün kılmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bilgi teknolojilerindeki son gelişmeler, insanların kültürel mirasa erişimini sağlamak amacıyla çok çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle 3B baskı, web ortamında sunum ve artırılmış gerçeklik teknolojileri, kültür miras ile ilgili kullanıcı etkileşimini geliştirme bakımından önemli avantajlara sahiptir. Bu çalışmada, deneyimin bir parçası olarak birlikte değer yaratma ortamı oluşturmak için kültürel miras mekanlarında 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı sunum teknolojilerini kullanma fikri kavramsallaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, kültürel miras mekanları bağlamında çoklu teknolojilerin etkin kullanımının hem kültürel miras kuruluşları için hem de ziyaretçilerin ziyaret öncesi, yerinde ve ziyaret sonrası deneyimleri için birlikte değer yaratılmasına katkı sunduğunu göstermektedir. Çalışmada açıklanan yaklaşım sayesinde kültürel miras yerlerinin rekabet gücünü artırmasının yanı sıra, günümüzün sosyal deneyimlerinin önemli bir parçası olan ziyaretçiler arasındaki bağlantıyı güçlendirmesi beklenmektedir. Kültürel miras bağlamında 3B baskı, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme yoluyla değer yaratma fikrini niteliksel olarak keşfetmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu nedenle, bu fikrin tüm potansiyelini keşfetmek için çok çeşitli paydaşlarla birlikte ortak çalışmaların yürütülmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- Aziz, K. A., & Siang, T. G. (2014). Virtual Reality and Augmented Reality combination as a holistic application for heritage preservation in the Unesco World Heritage Site of Melaka. *International Journal of Social Science and Humanity*, 4(5), 333-338.
- Bostanci, E., Kanwal, N., & Clark, A. F. (2015). Augmented reality applications for cultural heritage using Kinect. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 5(1), 1-18.
- Bozzelli, G., Raia, A., Ricciardi, S., De Nino, M., Barile, N., Perrella, M., & Palombini, A. (2019). An integrated VR/AR framework for user-centric interactive experience of cultural heritage: The ArkaeVision project. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 15, e00124.
- Fernández-Palacios, B. J., Morabito, D., & Remondino, F. (2017). Access to complex reality-based 3D models using virtual reality solutions. *Journal of cultural heritage*, 23, 40-48.
- Jung, T. H., & tom Dieck, M. C. (2017). Augmented reality, virtual reality and 3D printing for the co-creation of value for the visitor experience at cultural heritage places. *Journal of Place Management and Development*, 10(2).
- Nishanbaev, I. (2020). A web repository for geo-located 3D digital cultural heritage models. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 16, e00139.
- Putra, E. Y., Wahyudi, A. K., & Dumingan, C. (2016, October). A proposed combination of photogrammetry, Augmented Reality and Virtual Reality Headset for heritage visualisation. *In 2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)* (pp. 43-48). IEEE.
- Uslu, A. ve Uysal, M. (2017). E-müze için kültürel mirasın 3 boyutlu modellenmesi ve gösterimi. *Afyon Kocatepe*

Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. (17). 79-85.

- Uslu, A. ve Uysal, M. (2017). Arkeolojik Eserlerin Fotogrametri Yöntemi ile 3 Boyutlu Modellenmesi: Demeter Heykeli Örneği. *Geomatik*, 2(2), 60-65.
- Uslu, A. ve Uysal, M. (2020). Kültürel Mirasın Etkileşimli Keşfi İçin Mobil Artırılmış Gerçeklik ve Web Tabanlı Görselleştirme Teknolojilerinin Kullanılması: Sfenks Heykeli Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (6), 1024-1031.
- Uslu, A. ve Uysal, M. (2021) Kitle Kaynaklı Fotoğraflar Kullanılarak Kültürel Mirasın Üç Boyutlu Modellenmesi ve Web Tabanlı Görselleştirilmesi: Afrodisias-Tetrapylon Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3), 632-639.
- Verim, Y. (2019). Kütahya'da II. Abdülhamid Han Dönemi'nde İnşa Edilmiş İki Çeşme: Çinili Çeşme ve Hürriyet Çeşmesi. *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 75-92.
- URL-1: <https://www.augment.com/> (Erişim Tarihi: 02.10.2021).
- URL-2: <https://cesium.com/platform/cesiumjs/> (Erişim Tarihi: 05.10.2021).



COVID-19 Tespiti için Akciğer BT Görüntülerinin Bölütlenmesi

Buket Kaya^{1*}, Muhammed Önal²

¹ Fırat Üniversitesi, Elazığ Organize Sanayi Bölgesi MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9505-181X), bkaya@firat.edu.tr

² Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekobilişim Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5335-867X), muhammedonal@hotmail.com.tr.

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015061)

ATIF/REFERENCE: Kaya, B. & Önal, M. (2021). Covid-19 Tespiti için Akciğer BT Görüntülerinin Bölütlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1296-1303.

Öz

Günümüzde her alanda olduğu gibi medikal alanda da teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte teşhis ve tedavi için ulaşılabılır medikal cihazların sayısı artmaktadır. Hastalar açısından, doğru zamanda, doğru medikal yaklaşımlarla alınan sağlık hizmeti oluşabilecek hayati riskleri önlemektedir. Özellikle tıbbi görüntülerdeki gelişmeler ve yapay zekâ ile paralel gelişimi hekimlere yardımcı, karar destek sağlayıcı sistemlerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri yapay zekânın çoğu alanda olduğu gibi sağlık hizmetlerinde de insan kaynaklı hataları minimize etmesidir. Medikal görüntülerin hekimler tarafından yorumlanarak teşhis konulması zaman açısından maliyetli işlemlerdir. Medikal görüntülerin yapay zekâ tekniklerinden faydalanılarak teşhisin koyulması, sınıflandırılması ve otomatik hale getirilmesi hekimlere karar destek sağlayarak iş yükünü hafifletecektir. Çalışmamızda, Covid-19 (2019-nCoV) tespiti için BT Toraks (BT Göğüs) görüntülerinden akciğer dokusunun segmente edilerek bu işlemdeki başarısı ele alınan model geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Covid-19, Bölütleme, U-Net, Bilgisayarlı Tomografi, Medikal Görüntü Bölütleme

Segmentation of Lung CT Images for COVID-19 Detection

Abstract

Today, as in every field, the number of accessible medical devices for diagnosis and treatment is increasing with the rapid advancement of technology in the medical field. Especially the developments in medical images and its parallel development with artificial intelligence enable the emergence of decision support systems that help physicians. One of the most important reasons for this is that artificial intelligence minimizes human-induced errors in health services, as in most areas. Diagnosis by interpreting medical images by physicians is costly in terms of time. Diagnosing, classifying and automating medical images by using artificial intelligence techniques will ease the workload by providing decision support to physicians. In our study, a model was developed for the detection of covid-19 (2019-nCoV) by segmenting the lung tissue from CT Thorax (CT Chest) images, and the success of this procedure is discussed.

Keywords: Deep Learning, Covid-19, Segmantation, U-Net,Computed Tomography, Medical Image Segmantation.

* Sorumlu Yazar: bkaya@firat.edu.tr

1. Giriş

İlk olarak Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkan COVID-19 (SARS-CoV-2) salgını, küresel bir salgın olarak tüm dünyaya yayılmıştır. 12 Ekim 2021 itibariyle, pandemi nedeniyle dünya çapında 4,8 milyon ölüm ve 6,3 milyar aşı dozu dahil olmak üzere 237 milyondan fazla insan enfekte olmuştur [1]. Bilim adamları, bu küresel salgının yayılma hızını azaltmak için tanı ve tahmine yardımcı olacak testler, ilaç ve aşı keşfi ile mücadeleye katkı sağlarken, bilgi teknolojileri de erken teşhis hususunda çalışmalarına devam etmektedir. Çünkü covid-19 hastalarının teşhisini değerlendirmek için etkili araçlara acil bir şekilde ihtiyaç vardır. Günümüzde tıbbi alandaki gelişime paralel olarak mühendislik alanındaki gelişmeler de hastalıkların teşhis ve tedavisine ciddi katkı sağlamaktadır. Bir insanda hastalığın ortaya çıkış sürecinden önceki evreden başlayarak akabinde hastalığın seyrindeki değişimleri gözleminin en önemli yöntemlerinden biri de görüntüleme yöntemi olduğundan, sağlık hizmetleri alanında görüntü işleme ile ilgili çalışmalar ivme kazanmıştır. Medikal görüntülerin değerlendirilmesi ve yorumlanması oldukça uzmanlık gerektiren kompleks işlemlerdir. Uzman hekimler tarafından görüntüleme alanında yapılacak hatalı raporlamalar yanlış tedaviye yol açabileceği göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu anlamda geleneksel yöntemlere nazaran insan hatalarını minimize etmek, teşhis ve tanının erken konulmasını sağlamak için tıbbi görüntüleme alanında yapay zekâ tekniklerinden olan derin öğrenmenin oldukça katkı sağladığı görülmüştür. Çünkü derin öğrenme ile çok katmanlı görüntüler üzerinden performansı yüksek sonuçlar alınmaktadır.[2]

Çeşitli hastalıkların tespiti ve sınıflandırılması için makine öğrenmesi, derin öğrenme ve yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar kullanılmaktadır [3]. Bu nedenle tıbbi görüntüleme alanında kullanılan derin öğrenme mimarilerinden biri olan CNN (Evrışimsel Sinir Ağları) oldukça etkili olmuş ve başarılı sonuçlar elde edilen bir çok çalışma geliştirilmiştir. Çalışmamız, iki sınıfa ait (normal ve covid) BT görüntülerini sınıflandırmak için derin öğrenme tabanlı bir model tasarlamış, ardından bu görüntülerden covid-19 enfekte olmuş kişinin akciğer dokusunun segmente edilerek sınıflandırılması sağlanmıştır

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Seti

Veri seti için erişime açık kaynaklara başvurulmuştur. Bu veri seti, Sinir Ağlarını eğitmeyi sağlamış ve ardından sonuçların hesaplanmasında kullanılmak üzere görüntüler manuel olarak segmente edilerek oluşturulan veri setine kaydedilmiştir. Önerilen modelin ve çalışmanın başlıca katkıları şu şekildedir:

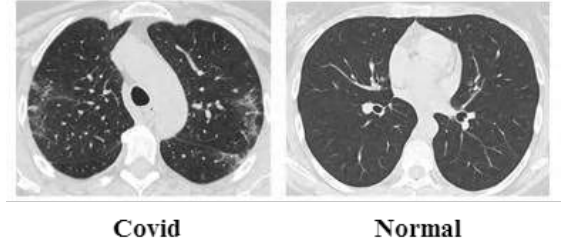
1. Veri seti, açık kaynaklı kaynaklardan alınan iki sınıflı BT görüntüleri (covid ve normal) ile hazırlanmıştır.
2. Modelin performansını daha iyi hale getirmek için modelde performans iyileştirme yöntemleri uygulanmıştır.
3. Kullanılan görüntülerin yetersizliğinden dolayı veri artırma teknikleri kullanılmıştır.
4. Modeldeki ezberlemeyi (overfitting) ve dolayısıyla genelleme hatasını en aza indirmek için bazı normalleştirme yapılarak evrişim bloğu eklenmiştir.

Çalışmada kullanılan kaynak ve veri setleri için (Ör:covid-19 makaleleri, BT görüntüleri ve diğer verisetleri) genel kabul görülen Radiopaedia, Kaggle, Google scholar, Github, Science Direct gibi veritabanları taranarak kullanılmıştır.

Bu tür açık kaynaklı veri setlerinin en önemli sorunu genellikle görüntülerin yetersiz sayıda olmasının yanı sıra düzensiz ve kategorize olmamasından dolayı derin öğrenme modellerinin öğrenme ve tahmin yeteneklerini ciddi oranda etkilemektedir.

Çalışmada, .nii (neuroradiology) türünde 20 vakaya ait dosya olmak üzere her biri ayrı gri tonlamalı BT toraks kesit görüntüsünü içeren ve Kaggle veritabanından alınan bir veriseti kullanılmıştır. Bu veri setindeki veriler Brezilya, Sao Paulo'daki hastanelerdeki gerçek hastalardan alınan public bir verisetidir[4]. Verisetindeki toplam kesit sayısı 3520'dir. Veri setindeki vakalardan ağır eğitimi ve testleri için %80 ve %20 oranında kullanılmıştır.

Her iki sınıfta örnek görüntüler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1 . Önerilen modelinin eğitimi ve değerlendirilmesi için kullanılan örnek BT görüntüleri.

2.2. Yöntem

Pnömoni görüntüleri gibi tıbbi görüntülerden covid-19 teşhisi koyma ve covid-19 tespitinin yapılması temel olarak bir görüntü sınıflandırma problemidir. Bu tür sınıflandırmada ise görüntüye ait özelliklerin yakalanması önem arz ettiğinden görüntü sınıflandırma da bazı problemler sıklıkla yaşanmaktadır. Görüntülerin farklı dokusal özellikler içermesi, görüntünün gürültülü olması, zaman maliyeti vb. problemler görüntünün başarılı bir şekilde sınıflandırmasını olumsuz etkiler. Çalışmamızda, makine öğrenmesi tekniklerinden olan Derin Öğrenme (*Deep Learning*) kullanılmıştır. Bu bağlamda BT toraks görüntülerini (normal, covid) sınıflandırmak için Derin Öğrenme mimarilerinden biri olan Yapay Sinir Ağları (ANN) tabanlı Evrişimli Sinir Ağları (CNN) kullanılmıştır. Yapılan birçok çalışmada CNN'nin, sınıflandırma performansı ile geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerinden daha üstün olduğu görülmüştür[5].

Bu bölümde önerilen modelin tüm detayları ve çalışma sürecinde atılan adımlar özetlenmektedir. Öncelikle çalışmada kullanılan derin öğrenme yöntemine kısaca değinilmiş, ardından veri setini elde etme süreçlerine ve son olarak da model oluşturma sürecine yer verilmiştir. Modeli oluşturmak için Python açık kaynak yazılımı ve Keras Kütüphanesi kullanılmıştır.

Bu çalışma, 3 ana görevden oluşmaktadır. Bunlar;

- 1- Covid-19 ile enfekte olmuş bölgenin bölütlenmesi

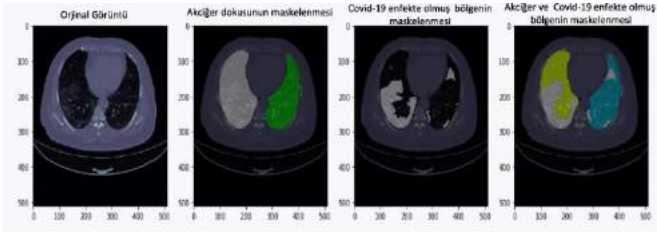
Önerilen Metrik: Dice Coefficient, IoU (Jaccard Index)

- 2- Covid-19'un sınıflandırılması (normal, covid)

Önerilen Metrik: AUROC, F1-Score

3- Akciğer dokusunun bölütlemesi

Önerilen Metrik: *Dice Coefficient, IoU (Jaccard Index)*



Şekil 2. Örnek Veri

Evrışimsel Sinir Ağları teknikleri derin öğrenme yaklaşımıdır. Derin Öğrenme, doğrusal olmayan problemlere birden fazla katman kullanarak çözümler sunan bir yöntemdir. Genellikle video analizi, konuşma tanıma, görüntü sınıflandırma, bilgi alma, nesne tanıma ve doğal dil öğrenme gibi alanlarda kullanılmaktadır [6-7]. Ancak derin öğrenme uygulamaları yaparken belirli bir problem için hangi modelin seçileceğini belirlemede birkaç soru dikkate alınmalıdır. Bunlar;

1. Üretken mi yoksa ayırmacı bir model mi kullanılmalı?
2. Verilerin özellikleri nelerdir?
3. Girilen değerlerin boyutu nedir?

Bu anlamda amaç sınıflandırma ise *ayırt edici* bir model kullanılması uygun olacaktır.

2.2.1. Pre-Processing

Görüntünün kullanıma hazır hale getirilmesi aşamasıdır. Görüntülerde bulunan gereksiz kısımlar kırılarak belirli bir kontrast aralığına getirilmesi sağlanmaktadır. Ardından yoğunluk normalize edilip, gürültülü alanlar temizlenmiştir. Aşağıdaki adımlar izlenmiştir;

1. Eksik ve hatalı görüntüler kaldırılması
2. Boş maske tahmini için ayrı model
3. Görüntü iyileştirme için Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme kullanımı
4. Otsu'nun ikileştirme (*Otsu's binarization*) ve diğer yaklaşımlarını kullanarak enfekte olmuş bölgenin (ROI) kırılması
5. Veri Arttırma (*Data Augmentation*)

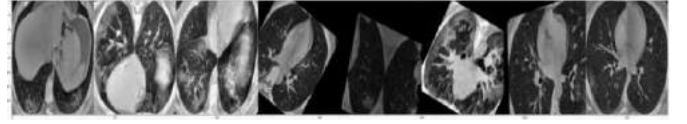
2.2.2. Veri Arttırma (*Data Augmentation*)

Veri arttırma (*data augmentation*), mevcut veri kümesinden ekstra veri elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu durumda mevcut görüntülerin bozuk kopyalarını oluşturur. Temel amaç, sinir ağını çeşitli çeşitliliklerle güçlendirmek, bu da veri setindeki benzer ve alakasız özellikleri ayırt eden bir ağa yol açmaktır. Görüntü arttırma birkaç teknik kullanılarak yapılabilir. Veri mevcudiyeti ve kalitesine göre gerektiğinde büyütme teknikleri verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Teklifimiz, farklı koşullar için çok sayıda veri kümesini desteklemek için birden çok tekniği aşağıdaki gibi entegre eder:

- Döndürme (*Rotation*): görüntü -10° ile 10° arasında bir aralık içinde döndürülür.
- Yakınlaştırma (*zoom*): görüntüyü yakınlaştırarak veya uzaklaştırarak ölçeklendirmek de verisini artırır.
- Kesme (*Shear*): görüntü kesme, üç boyutlu imitasyon faktörü ile döndürme kullanılarak gerçekleştirilebilir.

- Gauss bulanıklığı (*Gaussian blur*): Bir Gauss filtresi kullanılarak, görüntünün bulanık bir versiyonuna neden olan yüksek frekans faktörleri ortadan kaldırılabilir.

Bu yöntemler kullanılarak veri seti arttırılmış ve eğitim aşamasında kullanılmıştır. Bununla birlikte, test aşamasında, test seti genişletilmeyecektir. Bu, mimarinin sağlamlığını ortaya koyacak ve ezberlemeyi önleyecektir.



Şekil 3. Data Augmentation ile arttırılan BT görüntüleri

2.2.3. Görüntü Bölütleme (*Image Segmentation*)

Görüntü bölütleme (*image segmentation*), görüntü analizi ile ilgili bir problem olup görüntü işlemenin gösterim ve tanılama aşamalarına görüntüyü hazırlama işlemidir.[12]

Yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda *en iyi* denilebilecek bir görüntü segmentasyon modeli bulunmadığını söyleyebiliriz. Her segmentasyon modelinin başarısı yapılan çalışmanın ve kullanılan görüntünün türüne göre değişiklik gösterebilmektedir. Tıbbi görüntü segmentasyon işlemi de dokuların ölçümü, anormalliklerin tespiti ve bu gibi işlemlerin sınıflandırılmasıdır. Tıbbi görüntü segmentasyonunun amacı, ilgilenilen bölgelerin (ROI: *Region of Interest*) otomatik tanımlanması ve etiketlenmesidir.

Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntülerinden arter veya kemiğin ayrıştırılması işlemi ile görüntü segmentasyonu yapılabilmektedir. Tıbbi görüntüleme segmentasyon işlemi 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak yapılabilmektedir. Akciğer görüntülerinin segmente edilmesi ise covid veya diğer hastalıkların tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Bu işlem, covidli dokunun segmentasyon işlemi ile akciğer dokusundan ayırt edilerek yapılabilir.[13]

Herhangi bir Akciğer BT görüntüsü ele alındığında görüntüdeki boşluklu yapıların siyah, içi dolu olan yapıların ise beyaz olarak görüntülediğini görebilirsiniz. Akciğer dokusu boşluklu bir yapıya sahip olduğundan manuel segmente edilecek kısımlar, göğüs kafesinin orta bölgesinde yer alan iki siyah lob şeklinde görüntülenir. Modelimizin otomatik olarak segmentasyon işlemi yapabilmesi için test aşamasında test için ayrılan görüntülerin maskelenmiş akciğer BT görüntülerinden faydalandık. Manuel olarak segmente edilen akciğer BT görüntüleri maske görüntülerinden oluşmaktadır. Bu maske görüntüler binary (ikili) görüntülerdir. Maske görüntülerin oluşması *Uzm.Dr.Abdulkerim Kula*'nın desteği ile sağlanmıştır. Çalışmada, covid-19 ile enfekte olmuş dokunun tespitinin otomatikleştirilmesi için Evrışimli Sinir Ağı tabanlı U-Net mimarisi kullanılarak en yüksek doğruluk ve en düşük hata oranının elde edilmesi amaçlanarak modelimiz oluşturulmuştur.

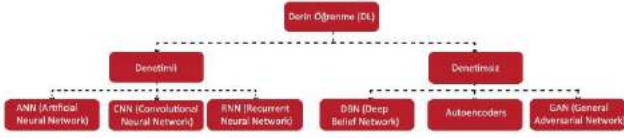


Şekil 4. Manuel segmente edilen bir akciğer görüntüsü

Çalışmamız, covid-19 ile enfekte olmuş bölgelerin otomatik olarak segmente edilmesi ile hekimler için klinik karar destek sağlayacaktır.

2.2.4. Derin Öğrenme (Deep Learning)

Derin öğrenme, özellik çıkarma ve dönüştürme için birçok doğrusal olmayan işlem birimi katmanını kullanır. Her ardışık katman, önceki katmandaki çıktıyı girdi olarak kullanır. Böylelikle Derin Öğrenme, ham veri kümesinden özellikleri otomatik çıkarabilen yeni bir makine öğrenme tekniğidir. Esasen derin öğrenme, geleneksel makine öğreniminin daha gelişmiş bir sürümüdür diyebiliriz. Denetimli (supervised) ve denetimsiz (unsupervised) olmak üzere iki çeşit derin öğrenme vardır.[8]



Şekil 5. Derin Öğrenme Türleri

2.2.5 Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network)

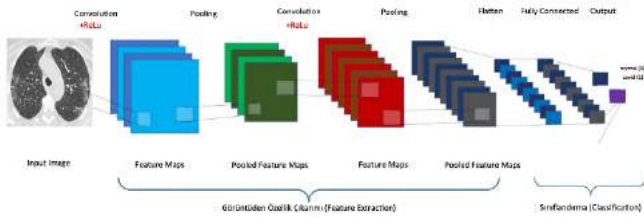
Derin öğrenmenin en başarılı modellerinden biridir. Evrişimsel Sinir Ağı, CNN yada ConvNet olarak da bilinmektedir. CNN, en basit tanımıyla bir girdi görüntüsünü alıp, görüntüde ki çeşitli nesnelere birbirinden ayırabilen derin öğrenme modelidir. Evrişimsel Sinir Ağı, birden fazla katmana sahiptir. Temel bir Evrişimsel Sinir Ağı'nın ilk birkaç evresi Evrişim Katmanı (Convolution Layer) ve Havuzlama Katmanından (Pooling Layer) oluşmaktadır. Son aşamada ise tam bağlı katmandan (Fully Connected Layer) oluşur. Akabinde ise sınıflandırma katmanı bulunmaktadır.[9]

Derin Öğrenme ve bilgisayarlı görü (computer vision) konusunu incelediğimizde karşımıza ilk model olan Evrişimli Sinir Ağı çıkacaktır. Bu tür ağları diğer derin öğrenme yöntemlerinden ayıran en büyük özelliği girdi olarak görüntünün kendisini almasıdır. Diğer derin öğrenme modellerinde giriş vektör biçimindedir. CNN, doğrudan giriş verileri olarak 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntüleri kullanır.

Evrişimsel Sinir Ağı'nın en önemli avantajları şunlardır;

1.Evrişimsel filtre ve havuzlama katmanlarını kullanarak görüntüden daha fazla bilgi alabilir ve eğitilecek ağ parametresini önemli ölçüde azaltabiliriz. 2.CNN'nin bir diğer önemli özelliği de ağırlık paylaşımıdır (weight sharing). (partial addition)

3.CNN'nin lokal bağlantı (local connectivity) özelliğinden bahsedebiliriz. (partial independence)



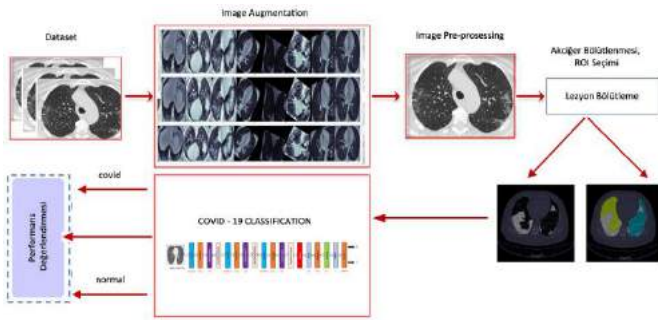
Şekil 6. CNN Genel Mimarisi

Şekil 6'de görüldüğü üzere Evrişimsel Sinir Ağı, ard arda yerleştirilmiş birden fazla eğitilebilir bölümlerden oluşmakta olup ardından eğitici bir sınıflandırıcı ile devam edilmektedir. CNN, giriş verilerini aldıktan sonra katman katman işlemler gerçekleştirerek eğitim süreci tamamlanır. Sonunda doğru sonuç ile karşılaştırma yapmak için bir sonuç çıktısı verir. Oluşan sonuç ile istenen sonucun farkı kadar bir hata oluşmaktadır. Bu hatanın tüm ağırlıklara aktarılması için back propagation (geriye yayılım) algoritması kullanılmaktadır. Her bir yineleme ile ağırlıkların güncellemesi yapılarak hatanın azaltılması sağlanmaktadır.

Evrişimsel Sinir Ağı'nı oluşturan katmanlardan **Giriş Katmanı (Input Layer)**; Evrişimsel Sinir Ağı'nın ilk katmanını oluşturmada olup bu katmanda veriler ağa ham veri olarak verilmektedir. Bu katmanın en önemli özelliklerinden biri tasarlanacak modelin başarılı olabilmesi için katmandaki verinin boyutu çok önem arz etmektedir. Çünkü, giriş görüntüsünün boyutu ne kadar yüksek olursa (yüksek bellek ihtiyacı, eğitim süresi ve görüntü başına düşecek test süresinin uzatılması vb.) ağın başarılı olmasıyla birlikte yüksek performans sağlanır. Sonraki katman ise **Evrişim Katmanı (Convolution Layer)**; özellikleri saptamak için kullanılan katmandır. Girdiği birleştirir ve sonucunu bir sonraki katmana iletir. Bu katmana dönüşüm katmanı da denilebilir. Dönüşüm katmanı denilmesinin sebebi, dönüşüm işlemi belirli bir filtrenin tüm görüntü üzerinde dolaştırılmasıdır. Bu filtreler 2x2, 3x3, 5x5 gibi farklı boyutlarda olabilmektedir. Bu filtreler, bir önceki katmandan gelen görüntülere evrişim işlemi uygulayarak çıkış verisini oluşturur. Bu evrişim işlemi sonucunda özellik haritası (feature maps) oluşur. Özellik haritası, her bir filtreye özgü özelliklerin keşfedildiği bölgelerdir. Evrişim katmanından sonra **ReLU** olarak adlandırılan **düzeltilmiş doğrusal birim katmanı** gelmektedir. Evrişimsel Sinir Ağı nöronlarının çıktuları devreye alınan doğrultucu birimdir. Aktifleşme (activation) katmanı olarak da bilinmektedir. Bu katman, giriş verisine yapmış olduğu etki ile negatif değerleri sıfıra çekmektedir. Evrişim katmanında belirli matematiksel işlemler uygulandığından ağ doğrusal bir yapıda olup doğrusal olmayan bir yapıya dönüştürmek için ReLu katmanı uygulanır. Bu katmanın kullanılması ile ağın daha hızlı öğrenmesi sağlanmaktadır. Bu katmandan sonra genellikle **havuzlama (pooling) katmanı** gelmektedir. Havuzlama katmanının en temel amacı, sonraki evrişim katmanı için giriş boyutunu azaltmaktır. Boyuttaki azalma ise bilgi kaybına (loss of information) neden olmaktadır. Bilgi kaybı ise, bir sonraki ağ katmanları için daha az hesaplama yükü oluşturarak aynı zamanda sistemin ezberlemesini (overfitting-aşırı öğrenme) önlediğinden bir avantaja dönüştürmüş olur. Evrişimsel Sinir Ağı'nda havuzlama katmanı zorunlu değildir. Bazı modeller bu katmanı kullanmamaktadır. İlk basamaktaki evrişim işlemi gibi havuzlama katmanında da belli filtreler tanımlanmaktadır. Maksimum havuzlama (MaxPooling) genellikle daha iyi performans gösterdiğinden tercih edilirken bu işlemi filtrelerin, görüntü üzerinde belli bir adım atma değerine göre (stride – adım kaydırma) gezdirilerek görüntüdeki piksellerin maksimum değerlerini alarak gerçekleştirir. Belirtilen stride değeri arttırılıp azaltılabileceği için gerçekleştirilen stride değerine göre çıktı boyutu da değişmektedir. Şekil 2'deki CNN mimarisini incelediğimizde ard arda gelen evrişim (convolution), ReLu ve havuzlama (pooling) katmanından sonra **tam bağlı katman (fully connected layer)** geldiğini görmekteyiz. Ancak tam bağlı katmandan önce **Flatten Layer** katmanı yer almaktadır. Bu katmanın en temel ifadeyle görevi tam bağlı katmanın (fully connected layer) girişindeki verileri hazırlamaktır. Sinir ağları, giriş verilerini tek boyutlu bir diziden almaktadır. Bu sinir

göstermektedir. U-Net mimarisi, bir daralma/kodlayıcı (*contracting path/Encoder*) ve bir genişleme/kod çözücü (*expansive path/Decoder*) yolundan meydana gelmektedir. U-Net mimarisindeki *daralma yolu* ise geleneksel bir evrişimsel ağıın tipik mimarisini izlemektedir. 3x3'lük bir evrişim (*convolution*) işleminin iki defa tekrarlanmasından oluşmaktadır. Daha sonra bu işlemi, aktivasyon (*activation*) olarak ReLu (*Düzleştirilmiş Doğrusal Birim Katmanı*) ve alt örnekleme (*downsampling*) için iki stride (*ötelemeli/kaydırmalı*) adım ile 2x2'lik bir maksimum havuzlama (*maxpooling*) işlemleri takip eder. Her alt örnekleme (*downsampling*) işleminde özellik kanalları (*feature channel*) sayısı ikiye katlanmaktadır. Mimarideki *genişleme yolu*'ndaki her adım yukarı örnekleme (*upsampling*) işleminden sonra özellik kanalları (*feature channel*) sayısını yarıya indiren 2x2'lik bir evrişim (*convolution*) işleminden, daralma yolundan karşılık gelen kırılmış özellik (*cropped feature*) eşlemesiyle birleştirme işleminden (*concatenate*) ve 3x3'lük bir evrişim (*convolution*) işleminin iki defa uygulanmasıyla oluşmaktadır. Bu evrişim (*convolution*) işlemlerinde aktivasyon olarak *ReLU* fonksiyonu kullanılmaktadır. Son katmanda ise 64 bileşenli özellik vektörü, istenen sayıda sınıfa eşlenmek için 1x1'lik bir *convolution* işlemi yapmaktadır. Bu ağıın toplam olarak 23 evrişim (*convolution*) katmanı bulunmaktadır.

Şekil 10'de görüldüğü üzere modelimizin blok diyagramındaki gibi veri seti birkaç aşamadan geçmektedir. İlk olarak, sonraki blokları daha fazla görüntü ile zenginleştirmek ve modelimizin tanınmasını istediğimiz özel özellikleri vurgulamak için veriler artırılır (*Data augmentation*). Bu işlem, veri setindeki görüntüleri döndürerek (*rotating*), kırarak (*shearing*), yakınlaştırarak (*zooming*) ve bulanıklaştırarak (*blurring*) yapılmaktadır. Bir sonraki adımda ise pre-processing (*ön işleme*) tabii tutulur (*shuffle, resize, normalize*). Bu aşamalar, ağa beslenen verileri birleştirmek için gereklidir. Görüntülerdeki anormallikleri belirlenir ve bölütlenir (*Lesion Segmentation*). Son olarak, covid-19 sınıflandırıcı modelimiz ile covid-19 ve normal görüntüleri sınıflandırmış oluruz.



Şekil 10. Modelin Mimarisi

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Değerlendirme Metrikleri

Görüntü segmentasyonu için en yaygın kullanılan değerlendirme metrikleri IoU (Intersection over Union) ve Dice Coefficient metrikleridir. *Dice Coefficient*, her iki görüntüdeki (doğru görüntü ve tahmin edilen görüntü) toplam piksel sayısına bölünen örtüşme alanının 2 katıdır. *Dice Coefficient*, IoU'ya çok benzer ve her ikisi de 0 ile 1 arasında değişir ve 1, tahmin edilen ile gerçek arasındaki en büyük benzerliği belirtir. *IoU*, *Ground Truth* ile model tahmini arasındaki örtüşme Jaccard indeksi ile ölçülür. Bu sebeple, *IoU* hesaplaması, iki dikdörtgenin

kesiştikleri alanın (*intersection*) bu iki dikdörtgenin bileşiminin (*union*) alanına bölümü olarak hesaplanır.

Metrik tanımları ise;

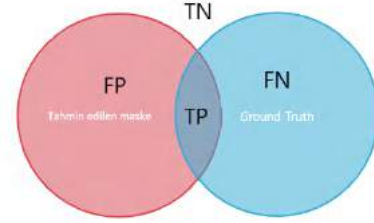
$$\text{Dice}(S) = \frac{2|A \cap B|}{(|A| + |B|)} = \frac{2TP}{(2TP + FP + FN)}$$

$$\text{IOU}(J) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{TP}{(TP + FP + FN)}$$

$$J = S / (S - 2)$$

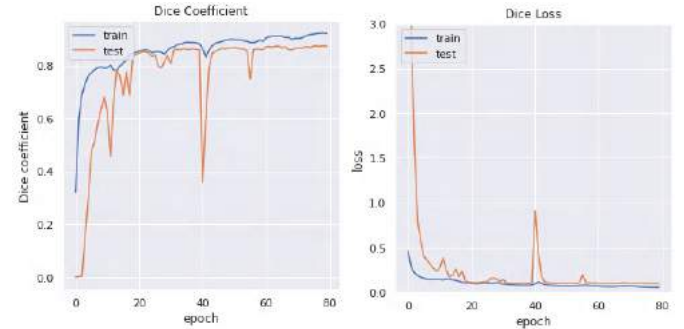
$$\partial J / \partial S = 2 / [(2 - s)]^2$$

(S = 0.586, J = 0.414) için eğim değeri 1'e eşittir.

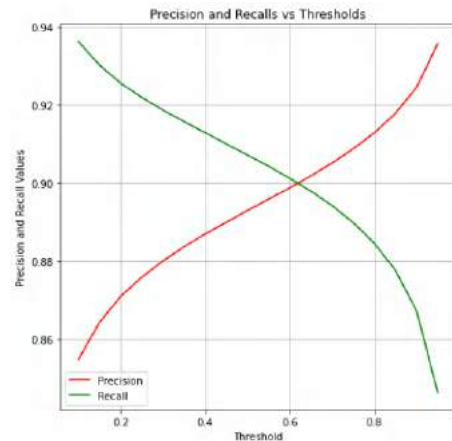


Şekil 11. Dice & IoU ilişkisini gösteren Venn Diyagramı

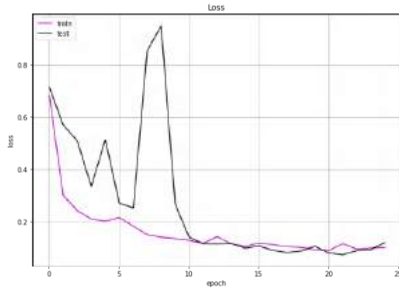
Şeklinde.



Şekil 12. Enfekte olan bölgenin segmentasyonu için Dice Coefficient ve Dice Loss için Eğitim Eğrisi



Şekil 13. Precision (Kesinlik) ve Recall (Duyarlılık) Eşikleri



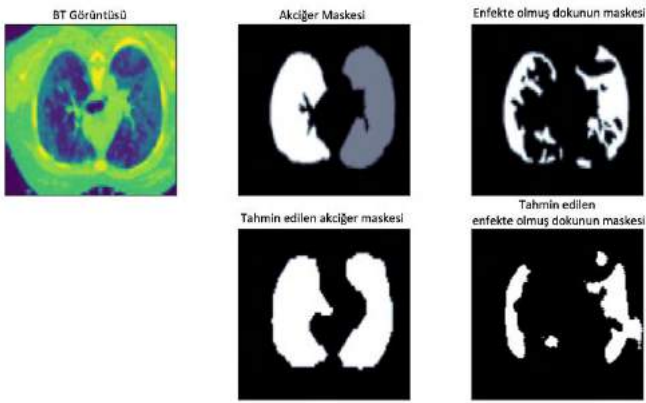
Şekil 14. Sınıflandırma (Classification) Loss Eğrisi

Test verilerinin değerlendirilmesi için evrimsel sinir ağıımızda akciğer bölütlemesi için giriş görüntümüzün boyutunu 128 piksel olarak alarak, 14 katmanlı bir model ile çalıştırdık.

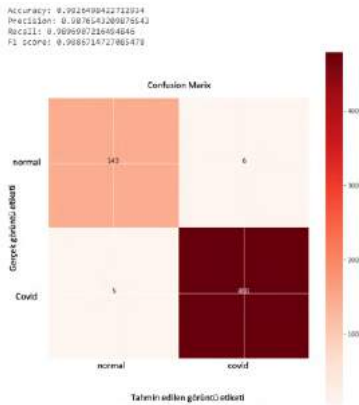
Enfekte olan dokuların bölütlemesi için 39 katmanlı bir model çalıştırdık ve aşağıdaki sonucu elde ettik.

Tablo 1.

	loss	dice coefficient
Akciğer	0.0590	0.9410
Enfekte Bölge	0.4809	0.5191



Şekil 15. Gerçek görüntüler ile tahmin edilen görüntülerin karşılaştırılması



Şekil 16. Gerçek görüntüler ile tahmin edilen görüntülerin karşılaştırılması

Precision (kesinlik) ve recall (duyarlılık) değerleri *dice* için en iyi eşik (*best threshold*) göredir

	Elim	İsli	Precision (Kesinlik)	Recall (Duyarlılık)	AUCROC	F1 Score	Anisotropy (Dağılım)
Enfekte Dokuların Bölütlenmesi (3-İsli)	0.098	0.903	0.947	0.520	-	Dice ile aynı	-
Enfekte Dokuların Bölütlenmesi (4-İsli)	0.056	0.917	0.925	0.928	-	Dice ile aynı	-
Sınıflandırma	-	-	0.987	0.989	0.998	0.988	0.982
Akciğer Bölütlenmesi	0.984	0.769	-	-	-	Dice ile aynı	-

Şekil 17. Sonuçlar

Çalışmada günümüzün en büyük salgını olan covid-19 enfeksiyonunun neden olduğu hastalığa dair çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma, özellikle hekimlere zaman ve maliyet açısından covid-19 tespiti için kaynakların daha etkin kullanılması açısından bir karar destek sağlamaktadır. Çalışmanın her aşamasında uzman desteği alınarak mesafe katedilmiştir. Tıbbi görüntüleme de yapay zekâ tekniklerinden faydalanarak sadece covid-19 bulgularının tespitinde değil diğer tüm hastalıkların tespitinde de etkin kullanılarak erken teşhis, ön görü ve tahmin, radyologlar yada hekimlerin iş yükünü azaltmak, hata payı düşük sistemler ortaya çıkarmak, acil ve öncelikli hastaların sınıflandırılması vb. sağlanabilir.

4. Sonuç

Kullanılan public veri setindeki görüntülerin standardize ve kategorize olmamasından kaynaklı modelin başarısı etkilenmiştir. Çünkü, Medikal görüntülerde, gri seviye (*gray level*) kontrast değerlerindeki yetersizlik, yüksek gürültü ve tanımsız doku sınırları gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Modelin başarılı olması için, medikal görüntülerdeki gürültülerin minimize edilmesi yada ortadan kaldırılması gerekmektedir. Çalışma kapsamında hala çalışılacak alanları mevcuttur. Bunların iyileştirilmesi ile medikal görüntüleme alanında diğer hastalıkların tespitinde de kullanılabilmesine ön ayak olacaktır.

5. Teşekkür

Eğitimde kullanılan ve manuel olarak segmente edilmiş maske görüntülerini oluşturan sn.Uzm.Dr.Abdulkerim Kula'ya katkılarından ve desteklerinden, ayrıca github'da paylaşmış olduğu çalışmadan dolayı sn.Rohit Verma'ya teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] <https://covid19.who.int/>, last accessed on 12 Sep 21.
- [2] M. Toğaçar, B. Ergen, "Biyomedikal Görüntülerde derin Öğrenme ile Mevcut Yöntemlerin Kıyaslanması," Fırat Üniversitesi Müh.Bilimleri Dergisi 2019; 31(1): 109-121.
- [3] Fraiwan L, Hassanin O, Fraiwan M, Khassawneh B, Ibnian AM, Alkhodari M. Automatic identification of respiratory diseases from stethoscopic lung sound signals using ensemble classifiers. *Biocybern Biomed Eng.* 2021;41(1):1–14. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2020.11.003>.
- [4] CT scan images: URL: <https://www.kaggle.com/plameneduardo/sarscov2-ctscan-dataset>, last accessed on 15 Sep 2020.
- [5] Chen, X., Xiang, S., Liu, C. L., & Pan, C. H., Vehicle detection in satellite images by hybrid deep convolutional neural networks, *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11 (10), 1797-1801, 2014.
- [6] L. Deng and D. Yu, "Deep Learning: Methods and Applications," *Found. Trends® Signal Process.*, vol. 7, no. 3–4, pp. 197–387, 2014.
- [7] Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Chen, T., Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 2017.
- [8] L. Deng and D. Yu, "Deep Learning: Methods and Applications," *Found. Trends® Signal Process.*, vol. 7, no. 3–4, pp. 197–387, 2014. *FLEXChip Signal Processor (MC68175/D)*, Motorola, 1996.

- [9] Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Chen, T., Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 2017.
- [10] İnik,Ö., Ülker E., Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin öğrenme Modelleri, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi(GBAD)*, 85-104, 2017.
- [11] Frid-Adar, M., Diamant, I., Klang E., Amitai, M., Goldberger J., Greenspan H., GAN-based synthetic medical image augmentation for increased CNN performance in liver lesion classification. *Neurocomputing*. 321-331, 2018.
- [12] *Computer Graphics Companion, Image Segmentation*, 2003.
- [13] Memon, N.A., Mirza, A.M. ve Gilani, S.A.M., Segmentation of Lungs from CT Scan Images for Early Diagnosis of Lung Cancer, *Transactions on Engineering, Computing and Technology*, 14, (2006) 228-233.
- [14] J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, "A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control," Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.



Eğitim Kurumları için Bilgi Yönetim Sisteminin Tasarımı ve Geliştirilmesi

M. Hanefi Calp^{1*}, Resul Bütüner², Yusuf Uzun³

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Trabzon, Türkiye, (ORCID ID 0000-0001-7991-438X), mhcalp@ktu.edu.tr

²Bilişim Teknolojileri Öğretmeni, Ankara Beypazarı Fatih MTAL, Ankara, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-9778-2349), rbutner@gmail.com

³Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID ID 0000-0002-7061-8784), yuzun@erbakan.edu.tr

(DOI: 10.31590/ejosat.1015188)

ATIF/REFERENCE: Calp, M.H., Bütüner, R., Uzun, Y. (2021). Eğitim Kurumları için Bilgi Yönetim Sisteminin Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1304-1308.

Öz

Teknolojik gelişmelerle birlikte hemen hemen her alanda önemli ölçüde veri artışı gözlemlenmektedir. Veri hacmindeki artış büyük veri kavramını gündeme getirmiştir. Kurumlar için artan bu büyük verinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılması ancak bilgi yönetim süreçlerinin uygulanmasıyla mümkündür. Bilgi yönetimi sayesinde, eğitimin tüm paydaşları bilgiye daha kolay ulaşabilecek, tüm faaliyetlerini zamandan ve mekandan bağımsız bir şekilde gerçekleştirebilecek ve daha kısa sürede etkin kararlar alabileceklerdir. Bu bağlamda, bu motivasyonla çalışmada eğitim-öğretim kurumları için bir bilgi yönetim sistemi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Çalışmada, uygulamanın arayüzünün geliştirilmesi ve yayınlanması için PHP, JAVA, HTML programlarından, bilginin depolanması ve gerektiğinde sorgulama yapılabilmesi için de MYSQL veritabanı programından yararlanılmıştır. Geliştirilen sistem ile yöneticiler, öğretmenler ve öğrenciler tüm süreçte kendileri ile ilgili bilgiye (kurum bilgileri, not girişi, ders programları, devamsızlık bilgileri, toplantılar, duyurular vb.) kolaylıkla erişim sağlayabilmekte ve zamanlarını etkin bir şekilde kullanabilmektedir. Sonuç olarak, çalışma bilgi yönetim sistemlerinin tüm adımlarını içermekte ve konuyla ilgili farkındalık oluşturulması adına önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eğitim Kurumları, Bilgi, Bilgi Yönetimi, Sistem, Tasarım

Design and Development of the Knowledge Management System for Educational Institutions

Abstract

A significant increase in data is observed in almost every field with the technological developments. The increase in data volume has brought the concept of big data to the agenda. Effective and efficient use of this increasing big data for institutions is only possible with the application of knowledge management processes. Thanks to knowledge management, all stakeholders of education will be able to access information more easily, perform all their activities independently of time and place, and take effective decisions in a shorter time. In this context, in this study, a knowledge management system was designed and developed for educational institutions with this motivation. In the study, PHP, JAVA, HTML programs were used for the development and publication of the application's interface, and MYSQL database program was used for storing information and querying when necessary. With the developed system, administrators, teachers and students can easily access information about themselves (institutional information, grade entry, course schedules, absenteeism information, meetings, announcements, etc.) and use their time effectively throughout the process. As a result, the study includes all steps of knowledge management systems and is important for raising awareness on the subject.

Keywords: Educational Institutions, Knowledge, Knowledge Management, System, Design

1. Giriş

Günümüzde eğitim-öğretim kurumlarının sahip olduğu sistemler genel anlamda hızlı bir şekilde gelişmekte ve her geçen gün daha da karmaşık bir hal almaktadır. Bu durum hem karar vericiler hem de eğitimin her kademesindeki yöneticiler için büyük zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu zorlukları ortadan kaldırmak ve eğitim sistemlerinin hedeflerine ulaşabilmek için eğitim sürecindeki karar vericilerin farklı kaynaklardan elde edecekleri anlık ve güncel farklı türde verilere ihtiyaçları vardır [1], [2], [3]. Yani, sürekli değişen ve gelişen bilgi ihtiyacına cevap verebilmek için otoriteler karar verme süreçlerini desteklemeli, kurum için gerekli veri kaynağı toplanmalı ve toplanan veriler dikkatle analiz edilmelidir [4].

Dolayısıyla bu çerçevede, eğitim-öğretim süreçlerinin kalitesinin sürekli izlenmesi, kurumsal bilgi alt yapısının oluşturulması, analiz edilmesi, sunumu ve uygulanmasıyla ilgili adımları içeren bilgi yönetim sistemleri gündeme gelmektedir. Bu da ancak bilgi ve iletişim teknolojilerinden yararlanılması ve etkin bir şekilde kullanılmasıyla mümkündür [5]. Bu bağlamda, bilgi ve iletişim teknolojileri, verilerin kaydedilmesi, depolanması, belirli bir işlem sürecinden geçirerek yeni bilgilerin üretilmesi, üretilen bu bilgilere ihtiyaç halinde erişilmesi ve paylaşılması gibi süreçlerin etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine imkan sağlar [6].

Bilgi teknolojisindeki gelişmeler kurum veya organizasyonlara önemli katkılar sağlamaktadır. Bu katkılar dikkatli bir şekilde değerlendirilmeli ve sözkonusu teknolojiler çağın imkan ve ihtiyaçlarına göre güncellenmelidir. Çünkü bu teknolojiler stratejik amaç ve öneme sahiptir. Bilgi teknolojilerinin örgütlere sundukları stratejik avantajları değerlendirebilmek için herşeyden önce bilgi sistemlerinin organizasyonlardaki rollerini tespit etmek, anlamak ve çözümlenmek gerekir. Bilgi sistemleri, örgütlerde uygulanan karar alma fonksiyonunu desteklemek amacıyla vardır. Bilginin amacı, muhtemel bir süreç, olay veya durumla ilgili oluşabilecek belirsizliği en azından minimuma indirmektir. Ancak, bilgi sistemleri, karar alma süreçlerinde ihtiyaç duyulan ve kullanılan bilgileri sağlamayı hedeflemektedir. Bilgi sistemleri, hangi verilerin toplanacağını ve nasıl işlenerek analiz edileceğini tespit eden kurallar bütünüdür. Bir başka ifadeyle, bilgi sistemleri belirli hedeflere ulaşabilmek amacıyla karar vericiler için verileri anlamlı bilgilere çeviren insan gücü, program ve yönetsel süreçlerdir [7].

Örgütlerde bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı bir bilgi sistemi tasarlamak ve geliştirmek için bilgiye olan ihtiyaç iki düzeyde belirlenmelidir. Bunlar örgüt ve uygulamadır. Örgütün bilgi mimarisi, örgüt düzeyinde belirlenecek bilgi ihtiyacı ile tanımlanmış olur. Uygulama düzeyindeki bilgi ihtiyacı dikkate alınarak geliştirilecek bir bilgi sistemi ise, örgütün bir birimine ya da bir faaliyetine hizmet sunar [8].

Teknolojideki gelişim, eğitim-öğretim süreçleri üzerinde de oldukça etkili olmuş ve teknolojik araçların eğitime entegre edilmesi gibi birtakım değişiklikler meydana gelmiştir. Ancak teknolojinin temin edilmesiyle birlikte etkin bir şekilde kullanılması da önemlidir, çünkü bu durum eğitim süreçlerinin daha hızlı ilerlemesine yol açacaktır. Örgütler bilgiye ulaşılması, temin edilmesi, bilginin analiz edilmesi ve üretilmesi için internet teknolojilerinden yararlanılarak elde ettikleri verileri

elektronik ortama taşıyabilir ve böylece erişilebilirliği de sağlayabilirler. Bu amaçla geliştirilen mobil veya web tabanlı sistemler; mekândan bağımsız bir şekilde erişilebilirlik, çevrimiçi işlem yapabilme, zamandan tasarruf sağlama gibi birçok önemli kolaylık sağlamaktadır [9]. Bilginin karar verme süreçleri üzerindeki öneminin anlaşılmasıyla birlikte, doğru bilgiye, doğru zamanda ve doğru kanallardan erişebilmek istenmektedir. Bu bağlamda, teknolojik yeniliklerin yayılımı eğitim-öğretim kurumları içerisinde de gerçekleşmekte ve sözkonusu kurumlar bilgi yönetim sistemlerine yönelmektedirler [10], [11].

Bu çalışmanın amacı, eğitim-öğretim kurumları için bir bilgi yönetim sistemi tasarlamak ve geliştirmektir. Geliştirilen sistem ile yöneticiler, öğretmenler ve öğrenciler tüm süreçte kendileri ile ilgili bilgiye (kurum bilgileri, not girişi, ders programları, devamsızlık bilgileri, toplantılar, duyurular vb.) kolaylıkla erişim sağlayabilecek ve zamanlarını etkin bir şekilde kullanabileceklerdir. Bu bağlamda çalışmanın ikinci bölümünde, bilgi yönetim sistemleri hakkında genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, kullanılan yöntem ve tekniklere; son olarak dördüncü bölümde ise çalışmadan çıkarılacak sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. Bilgi Yönetim Sistemleri

Bilgi yönetim sistemleri, örgütlerin faaliyetlerini optimize etmek amacıyla zamandan ve bütçeden tasarruf etmek için bilginin yönetilmesi olarak tanımlanır [10], [11]. Bilgi yönetim sistemleri sayesinde, toplanan veriler, gerekli birimlere eksiksiz ve zamanında iletilmektedir. Böylece bilgiye ulaşmak ve bilgi paylaşımı yapmak için harcanan zaman kısaltmakta, kurumların etkinliği artmaktadır. Bilgi yönetim sistemi, karar vericilerin ihtiyaçlarını gidermek amacıyla, üst yönetimden alt düzeye doğru, kullanılan sistemin de hedeflerini dikkate alarak geliştirilir. Bilgi yönetim sistemi, bilgisayar temeline dayanan insan-makine sistemi olup bilgi ve karar desteği sağlayan bir araçtır [12], [13]. Bilgi yönetimi süreçleri bilginin elde edilmesi (üretilmesi), seçilmesi, organize edilmesi, depolanması, paylaşılması ve kullanılması (uygulanması) olarak ifade edilmektedir [14], [15].

Literatürde bilgi yönetim sistemlerine farklı bakış açıları vardır. Ancak, neredeyse tüm araştırmacılar bilgi yönetim sistemlerinin işletmeye veya üretim yapılan kuruma çok büyük katkıları olduğunu düşünmektedirler. Bu noktada Vukašinović ve diğerleri, bilgi yönetim sisteminin faydalarını aşağıdaki gibi listelemektedirler [16]:

- Bilgi ve kaynakların iyileştirilebilirliği,
- Hatalar sonucunda öğrenmenin sağlanması ve sürecin sürekli iyileştirilmesi,
- İyi uygulamalara yönlendirmesi,
- İşletme içinde daha hızlı ve gelişmiş karar alınabilmesi,
- Personellerin iyileştirilmiş ortamı ve özverisi,
- Tecrübeli personel kaybının azaltılması,
- Bilgi kopyalamaya karşı koruma sağlanması,
- Bir ürünün geliştirilmesi ve piyasaya sunulması için daha az zaman harcanması,
- Geliştirilmiş marka bilinirliği,
- Piyasadaki olası değişikliklerin daha erken tespiti

Bu tanımlar ışığında, literatürde yaygın olarak kullanılan her bir adım kısaca şu şekilde açıklanabilir:

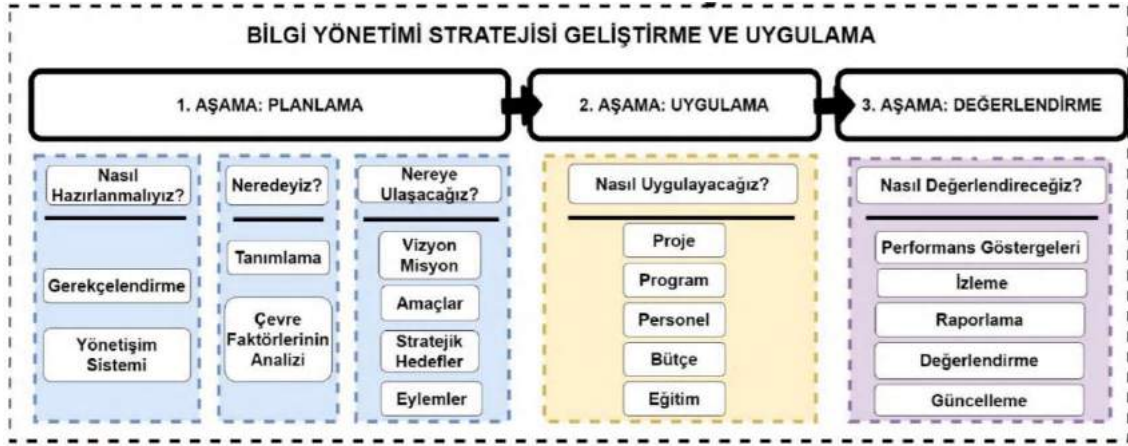
Bilginin elde edilmesi (üretilmesi): Kurum içi veya dışı muhtelif yollarla, örgütün kendi iş süreçlerinden veya faaliyetlerden veya paydaşlarla iletişimi olan dış kaynaklardan elde edilir [17].

Bilginin depolanması: Toplanan verilerin bilgi tabanı ile ilişkilendirilmesi ve böylece bilginin kullanımı açısından sürekliliğinin sağlanması anlamına gelmektedir. Gerektiği zaman bilgiye kolay ve hızlı bir şekilde erişim sağlanabilmesi için bilginin kaybolmadan etkin bir şekilde depolanması gerekir. Depolama yalnızca fiziksel anlamda değil, aynı zamanda personellerin hafızası veya örgütsel hafıza olarak da düşünülebilir [18], [19], [20].

Bilginin paylaşılması: Organizasyonlarda bilgi kaynağının tüm paydaşlarla paylaşılmasıdır. Doğru zamanda doğru bilgiyi paylaşmak sürecin önemli adımlarından biridir [21].

Bilginin kullanılması (uygulanması): Örgütün planlanan hedeflere ulaşmak amacıyla hızlı bir şekilde uygulanması veya kullanılmasıdır. Bu adımda, bilgi etkin bir şekilde kullanılmakta, sonuçlar değerlendirilmekte ve ihtiyaç halinde süreç yeniden şekillenmektedir. Bununla birlikte, bilginin kullanılması veya uygulanması örgüt için bilginin daha uygun bir hal alması anlamına gelir [17].

Ayrıca, bilgi yönetim sistemlerini geliştirmeden önce yönetim stratejisini belirlemek gerekmektedir. Şekil 1’de, bilgi yönetim stratejisi geliştirme ve uygulama modeline yer verilmiştir.



Şekil 1. Bilgi yönetim stratejisi geliştirme ve uygulama modeli [22]

Bilgi yönetim sistemlerini eğitim alanında irdelemek ve tanımlamak gerekirse, bir bilgi yönetim sistemi yöneticilerin, öğretmenlerin, öğrencilerin ve velilerin bulunduğu bir sosyal sistemdir. Bunun en iyi örneklerinden biri öğrenciler, öğretmenler, yöneticiler ve veliler için geliştirilen Okul Bilgi Yönetim Sistemleridir. Okul bilgi yönetim sistemleri kaliteli eğitim hizmeti yönünde önemli bir faktördür [23], [24]. Okul bilgi sistemlerindeki başarı durumu, sahip olduğu karmaşık yapının ve onu oluşturan kısımların etkili bir şekilde entegre edilmesine bağlıdır [25].

Eğitimde kullanılan bilgi yönetim sistemleri, planlama, kaynakların paylaşımı, izleme ve değerlendirme, strateji geliştirme ve karar verme adımlarını gerçekleştirmek için verilerin toplanması ve analiz edilmesi amacıyla geliştirilen sistemlerdir [26]. Eğitimde kullanılan bilgi sistemleri her kademedeki eğitim-öğretim faaliyetlerinin yönetimini desteklemek için doğru zamanda ve düşük maliyetle bilgi sağlamak amacıyla kullanıcıları, teknolojiyi ve süreçleri bir araya getiren sistemlerdir. Eğitim bilgi sistemlerinin etkin bir şekilde icra edilmesinde “faydalılık”, “kullanım kolaylığı” ve “iş/görev ile uyumluluk” olmak üzere üç temel kavram ön plana çıkmaktadır [27], [28]. Sözkonusu sistemler bir başka tanıma göre ise; eğitim-öğretim süreçlerinde verilmesi muhtemel kararlarda kullanılmak için elde edilen verilerin düzenli olarak paylaşıldığı, entegre edildiği, analiz ve çözümleme yapıldığı süreçler, prosedürler ve işbirliği olarak ifade edilmektedir. Verilen kararların bilgiye dayalı olması daha etkili izleme ve değerlendirme, planlama, strateji geliştirme ve analiz etme kolaylığı sağlamakta ve eğitimde verimliliği ve kaliteyi

artırmaktadır [29]. Bununla birlikte, bilgi sistemleri eğitim sisteminin yönetim, strateji, planlama ve izleme-değerlendirme faaliyetlerini içermektedir. Eğitim yönetimi sürecinde bilgi sistemleri paydaşları, mevcut durum, verimlilik, kurumsal faaliyetler, performans, problemler ve ihtiyaçlar gibi konularda bilgi verici olmalıdır [30].

3. Yöntem ve Teknik

Bu çalışmada eğitim-öğretim kurumları için bir bilgi yönetim sistemi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bilgi yönetiminin tüm adımları dikkate alınarak sürecin işletilebilmesi için PHP, JAVA, HTML programları ve bilginin depolanması ve gerektiğinde sorgulama yapılabilmesi adına MYSQL veritabanı programından yararlanılmıştır. Geliştirilen sistem ile yöneticiler, öğretmenler ve öğrenciler tüm süreçte kendileri ile ilgili bilgiye (kurum bilgileri, not girişi, ders programları, devamsızlık bilgileri, toplantılar, duyurular vb.) kolaylıkla erişim sağlayabilmekte ve zamanlarını etkin bir şekilde kullanabilmektedir.

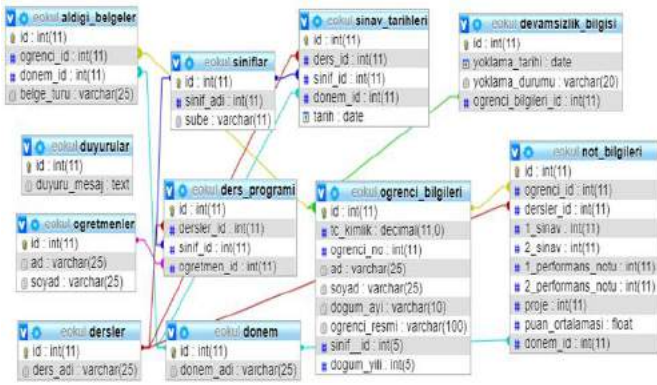
Uygulamada Öğrenci, Öğretmen ve Akademik Bilgi ana modülleri bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Uygulamada bulunan ana modüller

Sisteme giriş yapmak isteyen öğretmenler, T.C. numaraları ile öğrenciler ise okul numaraları ile giriş yapmaktadırlar. Tüm kullanıcılar, istedikleri bilgilere hızlı ve kolaylıkla ulaşım sağlayabilmekte ve istedikleri güncellemeleri yapabilmektedirler. Böylece, bilgi yönetiminin de ilk aşaması olan bilginin elde edilmesi veya toplanması aşaması gerçekleşmiş olmaktadır.

Bununla birlikte, muhtelif yollarla elde edilen bilginin kayıt altına alınması amacıyla veritabanı tasarlanmış ve ilgili tablolar oluşturulmuştur. Sözkonusu tablolar; belgeler, duyurular, öğretmenler, dersler, sınıflar, ders programı, dönem, sınav tarihleri, öğrenci bilgileri, devamsızlık bilgileri, not bilgileri olarak belirlenmiştir. Şekil 3'te oluşturulan veritabanındaki tablolar ve bu tablolar arasındaki ilişkilere yer verilmiştir.



Şekil 3. Veritabanı tabloları ve ilişkiler

Yapılan girişler neticesinde sistemin veritabanında veriler kaydedilmektedir. Bu aşama, bilgi yönetiminin bir aşaması olan bilgilerin depolanma/kaydedilme aşamasıdır. “Öğrenci” girişi ile sisteme giriş yapılarak ders, ders kodu, ders programı, kredi, ders notu vb. bilgilere ulaşılabilir. “Öğretmen” girişi ile sisteme giriş yapılarak kişisel bilgiler, not bilgileri, ders programı vb. bilgilere ulaşılabilir. Ayrıca, kullanıcılar “Akademik Bilgi” aracılığıyla ile yıl içerisinde ihtiyaç duydukları tüm akademik bilgilere (dönem sınav takvimi, kayıt bilgileri, öğrenci işleri vb.) kolaylıkla erişim sağlayabilmektedirler.

Daha sonra, muhtelif yollarla temin edilen ve sisteme kaydedilen bilgiler tüm paydaşlarla paylaşılabilir (bilginin paylaşılması) ve gerekli görüldüğü takdirde etkin bir şekilde kullanılabilir (bilginin kullanılması veya uygulanması).

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, öğretmen, öğrenci ve akademik bilgi modülleri geliştirilerek eğitime katkı sunacak yenilikçi yaklaşımla bir bilgi

yönetim sistemi geliştirilmiş ve sonuçları aktarılmıştır. Geliştirilen bilgi yönetim sistemi kullanılarak bilginin elde edilmesi, işlenmesi, depolanması ve ihtiyaç halinde paydaşlara iletilmesi veya herhangi bir yerden bu bilgiye erişim sağlanması otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Çalışma öğrenci, öğretmen, yönetici ve velilerin eğitime ait tüm bilgilere kısa zamanda ve etkili bir şekilde erişmesine imkan vermektedir. Böylece tüm kullanıcıların daha etkin karar vermeleri sağlanmaktadır.

Ayrıca, eğitim-öğretim kurumlarının iş süreçlerinde yenilikçi yaklaşımların etkin olarak kullanılması örgüt kültürünü oluşturmada ve bilgi yönetim süreçlerinin etkin bir şekilde uygulanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu durum, eğitim kurumlarının daha esnek ve yapılandırılmış bir bilgi yönetim kültürüne sahip olmalarını sağlamaktadır.

Eğitim-öğretim süreçlerinde etkin ve başarılı bir yönetim anlayışının sağlanabilmesi için uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesi ve sürecin bilgi tabanlı sürekli izlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, eğitimsel verilerin toplanması, işlenmesi, entegre edilmesi ve analiz edilerek raporlanması önem arz etmektedir. Bununla birlikte, birçok eğitim-öğretim kurumunda bilgi yönetim sistemleri olmasına rağmen sözkonusu sistemlerin kullanılması ve sonuçlarının analiz edilmesi bakımından çok fazla ilgi görmemektedir.

Son olarak geliştirilen uygulama, kullanılabilirlik açısından da oldukça iyi düzeyde olup e-okul kapsamında ihtiyaç duyulan birçok hizmet bulunmaktadır. Bununla birlikte, kullanıcıların eğitim-öğretim süreçlerindeki bilgi yönetim sistemlerine ait memnuniyet durumları ve memnuniyeti etkileyen tüm faktörler eksiksiz bir şekilde belirlenmelidir. Bu noktada, ileride yapılacak çalışmalarda yazılımdan kaynaklanan hatalar minimize edilebilir ve sistem karmaşıklığı sadeleştirilebilir. Yani daha kullanıcı dostu veya kullanılabilir bir sistem geliştirilebilir. Çünkü, kullanılabilir sistemler kullanıcılar tarafından belirli amaçlarda etkili, verimli, hata payı az ve kaliteli bir hizmet sunma imkânı sağlamaktadır. Sonuç olarak, gerçekleştirilen çalışmanın bir farkındalık oluşturması bakımından önemli olduğu düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Samancıoğlu, M., Bağlıbel, M., Özantar, Z. K., & Çetin, H. (2015). Okul Yöneticilerinin Eğitim Yönetimi Bilgi Sistemlerine İlişkin Görüşleri: Memnuniyet, Algılanan Fayda Ve Göreve Uygunluk Arasındaki İlişki. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 18(34), 193-212.
- [2] Cassidy, T. (2005). Education Management Information System (EMIS) Development in Latin America and the Caribbean: Lessons and Challenges. Retrieved from http://41.89.160.5/chisimba/usrfiles/context/lpe803/EMIS_-_What_is_it_4.pdf.
- [3] Sultana, R. G. (2002). An EMIS for Palestine – The Education Management Information System in The West Bank And Gaza Strip. Mediterranean Journal of Educational Studies.
- [4] Wako, T. N. (2003). Education Management Information Systems (EMIS): An overview Available from <http://www.educationcaribbean.com/eDocs/ICT4E/EMIS.pdf>.

- [5] Billeh, V. (2001). Educational management and information systems and decision making. In V. Billeh & E. Abd-El Mawgood (Eds.), *Education Development Through Utilization of Technology*. Beirut: Unesco Regional Office & United Arab Emirates: Ministry of Education and Youth.
- [6] Behan, K., & Holmes, D. (1990). *Understanding information technology: text, readings, and cases*. Prentice Hall.
- [7] Lucas, H. C. (1973). *Computer-based information systems in organizations*. Chicago: Science Research Associates.
- [8] Lederer, A. L., & Mendelow, A. L. (1988). Information systems planning: top management takes control. *Business Horizons*, 31(3), 73-78.
- [9] Mutlu Bayraktar, D. (2017). E-Okul Yönetim Bilgi Sisteminin Kullanılabilirliğinin Göz İzleme Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Itobiad: Journal of the Human & Social Science Researches*, 6(5).
- [10] Işın, B., (2000), "Bankacılık Sektörü ve Teknoloji Araçlarının Bankacılık Sektörüne Uygulanması-1", *Banka ve Para Teknolojileri Dergisi*, Mart, Nisan, Yıl:2, Sayı:7, s 60.
- [11] Saldamlı, A. (2008). İnsan kaynakları yönetiminde bilişim teknolojisinin kullanımına yönelik bir araştırma: Tekirdağ örneği.
- [12] Miman, M., Yoğun, A. E., & Önel, Y. E. Yönetim Bilgi Sistemleri Kullanım Özellikleri Arasındaki İlişkiler: Lojistik Sektörü Üzerine Bir Çalışma. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (54), 161-173.
- [13] Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (1996). *Management information systems: organization and technology*. Prentice-Hall, Inc.
- [14] Calp, M. H. (2020). Knowledge Management Within the Context of Organizational Innovation. In *Advanced MIS and Digital Transformation for Increased Creativity and Innovation in Business* (pp. 26-49). IGI Global.
- [15] Çetinkaya, A. (2012). Örgütsel Bilgi Yönetim Sürecinde Bilgi Yönetim Performansı Boyutları: Ölçek Geliştirme Ve Geçerliliği Üzerine Bir Araştırma.
- [16] Vukašinić, N., Vasić, D., & Tavčar, J. (2018). Application of Knowledge Management System to Injection Mold Design and Manufacturing in Small Enterprises. In *DS92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (pp. 1733-1744).
- [17] Selvi, Ö. G. Ö. (2012). Bilgi toplumu, bilgi yönetimi ve halkla ilişkiler. *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, 1(3).
- [18] Kalkan, V. D. (2006). Örgütsel öğrenme ve bilgi yönetimi. *Elektornik Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(16), 22-36.
- [19] Gupta, A. K. and Govindarajan, V. (2000). "Knowledge management's social dimension: lessons from Nucor Steel", *Sloan Management Review*, Vol. 42, No. 1, pp. 71-80.
- [20] Yang, J-T. and Wan, C-S. (2003). "Advancing organizational effectiveness and knowledge management implementation", *Tourism Management*, Vol. 25, No. 5, pp. 593-601.
- [21] Odabaş, H. (2006). Bilgi yönetimi. In *Bilgi...* (pp. 99-108). Referans Yayıncılık.
- [22] Ekici, S. (2021). Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikalarında Bilgi Yönetimine Yaklaşım: Türkiye için Bir Strateji ve Eylem Planı Model Önerisi, *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Bilgi ve Belge Yönetimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, Ankara.
- [23] Bayraktar, D. M. (2012). Teknolojik Yeniliğin Benimsenmesinde Sosyal Sistem Özelliklerinin Etkileri; E-Okul Uygulamasının İncelenmesi. *Hayef Journal Of Education*, 9(1), 86-100.
- [24] Lee, G., & Xia, W. (2006). Organizational size and IT innovation adoption: A meta-analysis. *Information & Management*, 43(8), 975-985.
- [25] Yılmaz, M., & Demirkan, A. E. (2012). Hastane yönetim ve bilgi sisteminin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 5(3), 19-28.
- [26] UNESCO. (2010). *Management Capacity, Guidebook for planning education in emergencies and reconstruction* (pp. 153-154). Paris: Unesco.
- [27] Moses, K. (2001). Education Management Information System: What is it and Why do we not have more of it?. *Journal of TechKnowLogia*.
- [28] Haddad, W. D. (2012). *ICTs for Education A Reference Handbook, Part 1: Decision Makers Essentials*.
- [29] Hua, H., & Herstein, J. (2003). Education Management Information System (EMIS): Integrated Data and Information Systems and Their Implications In Educational Management. Paper presented at the Annual Conference of Comparative and International Education Society, March 2003.
- [30] Carrizo, L., Sauvageot, C., & Bella, N. (2003). *Information tools for the preparation and monitoring of education plans*. Paris: Unesco.



Effect of *Dunaliella salina* on enhancing viability of probiotic and the nutritional value

Zina Alajil Alslibi^{1*}, Abuzer Çelekli², Hüseyin Bozkurt³

^{1*} Gaziantep University, Faculty of Art and Science, Department of 1Biochemistry Science and Technology, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9825-0910), zozo12345.dd@gmail.com

²Gaziantep University, Faculty of Art and Science, Department of Biology, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2448-4957), celekli.a@gmail.com

³Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Gaziantep, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4676-6354), hbozkurt@gantep.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013107)

ATIF/REFERENCE: Alslibi, Z. A., Çelekli, A. & Bozkurt, H. (2021). Effect of *Dunaliella salina* on enhancing viability of probiotic and the nutritional value. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1309-1311.

Abstract

Probiotics are known healthy exporters for humans utilized as diet supplements. Most types of probiotics like *Lactobacillus* applied in milk products possess various health benefits. Recently, fermented milk products contribute to the health of natural food and enhance intestinal microorganisms with the presence of lactic acid bacteria. As well as fermented milk products like kefir, ayran and yoghurt are supplement-power food is famous to be one of the most common of the best traditional fermented milk products in the world. Promoting the viability of probiotics like *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* with *Dunaliella salina* in fermented milk is an important issue. Nutrients consider as food components that could not be synthesized in our body such as vitamin C or could be synthesized that requires a specific factor in a certain state of affairs that be absent or not enough as some of the amino acids, vitamins and fatty acids as algae. The growing bodies of researches has applied on the biosynthetic ways of β -carotene in plants for perfection human health and nutrition and enhancing plant tolerance in hard environments. The effect of *Dunaliella salina* addition on the viability of probiotics bacteria in fermented milk through additions and storage time is a substantial issue. Thus, it is deemed as a "functional food". The aim of this study is to investigate the activity of probiotics and enhancing the nutritional value of fermented milk by adding *Dunaliella salina*.

Keywords: *Dunaliella salina*, Fermented milk, Probiotic bacteria, Algae, Functional food.

Dunaliella salina'nın probiyotik canlılığını ve besin değerini artırmaya etkisi

Öz

Probiyotikler, diyet takviyeleri olarak kullanılan insanlar için sağlıklı ihracatçılar olarak bilinir. Süt ürünlerinde uygulanan *Lactobacillus* gibi çoğu probiyotik türü, çeşitli sağlık yararlarına sahiptir. Son zamanlarda fermente süt ürünleri doğal gıdaların sağlığına katkı sağlamakta ve laktik asit bakterilerinin varlığı ile bağırsak mikroorganizmalarını geliştirmektedir. Kefir, ayran ve yoğurt gibi fermente süt ürünlerinin takviye edici gıda olmasının yanı sıra, dünyadaki en iyi geleneksel fermente süt ürünlerinden biri olmasıyla ünlüdür. *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium* gibi probiyotiklerin *Dunaliella salina* ile fermente sütte canlılığının desteklenmesi önemli bir konudur. Besinler, C vitamini gibi vücudumuzda sentezlenemeyen veya belirli bir durumda belirli bir faktör gerektiren sentezlenebilen gıda bileşenleri olarak kabul edilir ve bazı amino asitler, vitaminler ve yağ asitleri gibi eksik veya yetersizdir. yosun. Büyüyen araştırmalar, insan sağlığını ve beslenmesini mükemmelleştirmek ve zorlu ortamlarda bitki toleransını arttırmak için bitkilerde β -karotenin biyosentetik yollarını uygulamıştır. *Dunaliella salina* ilavesinin fermente sütteki probiyotik bakterilerin ilaveler ve saklama süresi yoluyla canlılığı üzerindeki etkisi önemli bir konudur. Bu nedenle "fonksiyonel gıda" olarak kabul edilir. Bu çalışmanın amacı, *Dunaliella salina* ekleyerek fermente sütün besin değerini arttırmak ve probiyotiklerin aktivitesini araştırmaktır.

Anahtar Kelimeler: *Dunaliella salina*, Fermente süt, Probiyotik bakteri, Yosun, Fonksiyonel gıda.

* Corresponding Author: zozo12345.dd@gmail.com

1. Introduction

Most of the nourishments which including probiotics can be suggested as useful bacteria with the prebiotic that are utilized and of the beneficial diet in Europe and Middle East (Vasiljevic and Shah, 2008). Probiotics are known healthy product for humans used as diet supplements. Many kinds of probiotics, like *Lactobacillus*, applied in milk products operations for a variety of health benefits (Mortazavian et al., 2006). So, there are certain types of Lactobacilli that are the most pivotal probiotic used as a part of probiotics products (Hoier, 1992). Probiotic bacteria, such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*, source is *Actinobacteria phylum* and *Firmicutes*. Also, *Lactobacilli* are a part of the lactic acid bacteria group and are known as one a section of microorganisms that ferment several hexoses to lactic acid. Lactobacilli is a gram positive, phylogenetically various, with about 100 sort certified until now, anaerobic or microaerophilic, rod-shaped, and non-spore-forming microorganism (Makarova, et al., 2006). Yoghurt culture bacteria like *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* often use for manufacturing of yoghurt and product's bring medical usefulness by giving a defensive effect against DNA damage by the members brought on heterocyclic amines. Many tests showed that pre-carcinogenic enhance injuries in colon cells of rate low while the food was several by a suspension exists *Lactobacillus bulgaricus* (Zsivkovits et al., 2003). There are various clinical researches showed several benefits health advantages of probiotic like:

- Protection against cancer
- Enhancement of the suppressor cells
- Producing interferon
- Protecting against unfavorable complex.
- Manufacture of inhibitory complexes as acids, and H₂O₂.
- Enhancing the immune system in body
- Promoting the digestion process
- Create of collections of vitamins
- Effect on lactose digestion

As well as, there are many studied on the survival of probiotic bacteria during preparing time and in the storage of fermented milk in the fridge (Beheshtipour et al. 2012). They suggested that integration of algae to the probiotic fermented milk products enhance the ability of probiotic and promote their functional properties.

2. Lactic Acid Bacteria

Lactic acid bacteria are chain of gram-positive bacteria including several of morphological, metabolic and physiological functions. Lactic acid bacteria have been used since old time due to their beneficial health effects on the host. There is much determination portraying probiotic health that probiotic bacteria should be tolerant to be spread its way through the gastrointestinal tract. Therefore there are many functions portraying probiotic health like:

- enhance effects on gastrointestinal contaminations
- controlling the antimicrobial and antiviral functions
- enhancing the lactose digestion

LAB is used as a starter culture, bio-protective specialize and consortium individuals in food products that promote food quality up to the time of usage. A group of probiotic kinds is accessible containing *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* that are shown for the improving of utilitarian diet products by health-promoting limits (Chávarri et al., 2010). Milk and fermented products are opulent in the usefulness of bacteria. Lactic acid bacteria are included between makings of products saving in mind the end time to start the fermentation ways. *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* are used as a starter culture in yoghurt also are using in account as a potential probiotic bacteria (Nadal et al., 2010). In the industry company of milk product, there are several requirements as oxygen ability to increase in milk products, heat tolerance and metabolize of prebiotics. So, the sensory functions necessary not to be impacted negatively (Nadal et al 2010). therefore the ability of probiotic bacteria as *L. acidophilus*, *Bifidobacterium* and yoghurt cultures bacteria could be exist and effected by add a pure cysteine into yoghurt operation which combined (Güler-Akin and Akin, 2007). A combination between probiotics and algae constitutes a symbiotic that could activate and enhance the existence of specific strains of probiotics in the intestinal tract. Also, the combination among probiotics and plant material has appeared to consult benefits for the body. Probiotics operations has been resulting to be a hopeful treatment to preserves and improving the intestinal environment. Many research studies have suggested that aquatic algae extracts of *Spirulina platensis*, *Dunaliella salina* and *Chlorella* extracts are possible sources for enhancing probiotic productions. *Spirulina platensis* extract considers as the great algal origin for the prebiotics that it had a huge stimulatory impact on growth of probiotic bacteria like *L. acidophilus*, *L. bulgaricus* *L. lactis* and *B. longum*. As long as, galactose and xylose described by HPLC in the algae extracts pretend oligosaccharides that assignment like prebiotic complex for promoting of probiotic (Gourbeyre et al., 2011)

3. *Dunaliella Salina*

Dunaliella salina is known as one kind of halophile green microalgae which found in sea salt place. It is common for its antioxidant behavior that is for its viability to prepare a big rate of carotenoids that utilized in beauty products and food supplements. Some of algae can survive such as *Dunaliella salina* does in such increase saline conditions like salt steaming fields. To live, the algae have huge rate of β -carotene to save against the intense light, it could increase rates of glycerol to improve protection on the osmotic pressure. The operation is a chance for commercial biological incubation of these materials (Oren, 2005). Morphemically *Dunaliella* is comparable to *Chlamydomonas reinhardtii* with the requisite without belong that *Dunaliella* lack both contractile vacuole and cell wall. *Dunaliella* contain two flagella has one length and same chloroplast include a basic pyrenoid. As well as the chloroplast could catch up with huge level of β -carotene, that can bring it show orange-red color. The β -carotene appears to protect the algae from a long-term UV radiation. *Dunaliella salina* is growth in its typical conditions. *Dunaliella salina* has many forms and symmetries depending on the conditions in its survival environments (Borowitzka and Michael, 2016). Also, the level of β -carotene is can active as an anti-oxidant and like a vitamin A. So, *Dunaliella salina* is a famous pro-vitamin A food

supplements and beauty products (Mokady and Abramovici, 1989). As well as *Dunaliella salina* is as a source of vitamin B12 (Kumudha and Sarada, 2016).

The growing body of researches has suggested the biosynthetic steps of β -carotene in the plants for pioneer human health and nutrition and promoting plant tolerances under bad environments.

Carotenoids are one of the biggest parts of natural pigments with about 750 forms found in several algae including algae and greater plants (Fraser and Bramley, 2004). In the green texture of the plants, the carotenoids are existed on chloroplast and work as ancillary molecule of photosynthetic colors, against from photooxidative harm, and antioxidants under pressure (Demmig-Adams and Adams, 2002). Through the non-green textures, carotenoids set up chromoplast of plant with various pigments to catch pollinators and free seed (Howitt and Pogson, 2006). In carotenoids, β -carotene is famous as an origin of vitamin A and a impact operations for cardiovascular risks and cancer. Any way β -carotene could not be synthesized and it must be taken by bodies from taken food (Krinsky and Johnson, 2005). Depending on the founded of phytonutrients, it has reformist functions against several diseases and health problem as cancer, diabetes, hypertension, hypercholesterolemia, and anaemia diseases. The studies have appear that the extracellular products make by algae specially effect the growth of lactic acid bacteria like *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, and *Lactobacillus casei*. So, this present paper focuses on the health efficiency of *Dunaliella salina* on probiotic microorganisms.

4. Discussion and Conclusion

T Several researchers inspected many properties of fermented milk products but particularly not well shown. The health benefits and supplement amounts of milk products are diversified, so it is advised to be using by people due to its advantages. The microbiological and chemical complex of fermented milk with algae could provide a probiotic impact due to the high amount of lactic acid bacteria. May future observations will appear more explanation about algae-milk products of their nutritional and therapeutic functions. That may use as functional food.

5. Acknowledgment

This paper has been boosted and supported by Gaziantep University, Turkey.

References

[1] Anantharajappa Kumudha I, Ravi Sarada, Kumudha Anantharajappa, Sarada Ravi, Characterization of vitamin B12 in *Dunaliella salina* J Food Sci Technol . 2016 Jan;53(1):888-94.
 [2] Beheshtipur H, Mortazavian AM, Haratian P, Khosravi K. Effect of chlorella and *Arthrospira platensis* addition on viability of probiotic bacteria in yoghurt and its biochemical properties. Euro Food Res Technol. 2012; 235: 1230- 1239.
 [3] Borowitzka, M.A. (2016) Algal physiology and large-scale outdoor cultures of microalgae. In: Borowitzka, M.A., Beardall, J. and Raven, J., (eds.) The Physiology of Microalgae. Springer, pp. 601-652.

[4] Chávarri M., Marañón I., Ares R., Ibáñez F. C., Marzo F., Villarán M. C. 2010. Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions. Int. J. Food Microbiol. 142 185–189. 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.022
 [5] Demmig-Adams, B., Adams, W.W., 2002. Antioxidants in photosynthesis and human nutrition. Science 298, 2149–2153.
 [6] Fraser, P.D., Bramley, P.M., 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. Prog. Lipid Res. 43, 228–265.
 [7] Goubeyre P, Denery S, Bodinier M. Probiotics, prebiotics, and synbiotics: impact on the gut immune system and allergic reactions. J Leukoc Biol. 2011;89(5):685–695.
 [8] Güler-Akın, M. B., Akın, M. S. (2007). Effects of cysteine and different incubation temperatures on the microflora, chemical composition and sensory characteristics of bio-yogurt made from goat's milk", Food Chemistry 100 (2), 788-793
 [9] Hoier E. 1992. Use of probiotic starter cultures in dairy products. Food Australia 44:418–20.
 [10]Howitt, C.A., Pogson, B.J., 2006. Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues. Plant Cell Environ. 29, 435–445.
 [11]Krinsky, N.I., Johnson, E.J., 2005. Carotenoid actions and their relation to health and disease. Mol. Asp. Med. 26, 459–516.
 [12]Makarova, K.; Slesarev, A.; Wolf, Y.; Sorokin, A.; Mirkin, B.; Koonin, E.; Pavlov, A.; Pavlova, N. (2006). "Comparative genomics of the lactic acid bacteria". Proc Natl Acad Sci U S A. 103 (42): 15611–6. PMC 1622870 Freely accessible. PMID 17030793. doi:10.1073/pnas.0607117103.
 [13]Mokady,S, Abramovici, A, Cog, U. Anthe Safety Evaluation Of *Dunaliella Bardawil* As A Potential Food Supplement. Fdchem. To~:Ic. Vol. 27, No. 4. Pp. 221 226. 1989.
 [14]Mortazavian, A. M. and Sohrabvandi, S. 2006. Probiotics and Food Probiotic Products; based on dairy probiotic products. tehran: Eta Publication.
 [15]Nadal, E. S., E. Sayas-Barberá, J. Fernández-López, and J. A. Pérez-Alvarez. 2010. Food formulation to increase probiotic bacteria action or population. Bioactive Foods in Promoting Health: Probiotics and Prebiotics:335-351.
 [16]Nakasawa Y, Hosono A. 1992. Functions of fermented milk. Challenges for the health sciences. London, England: Elsevier Applied Science.
 [17]Oren, A. A hundred years of *Dunaliella* research: 1905–2005. Saline Systems 2005, 1:2.
 [18]Vasiljevic, T. and Shah, N.P. (2008) Probiotics-From Metchnikoff to bioactives. International Dairy Journal 18: 714-728.
 [19]Zsivkovits, M., K. Fekadu, G. Sontag, U. Nabinger, W. W.Huber, M. Kundi, Asima Chakraborty, H. Foissy, and S. Knasmuller. 2003. Prevention of heterocyclic amine-induced DNA damage in colon and liver of rats by different *Lactobacillus* strains. Carcinogenesis 24(12):1913-1918..



Yenilenebilir Enerji Üretiminde Mikrobiyal Biyoproseslerin Kullanımı

Ülküye Dudu Gül^{1*}, Gizem Bayazıt²

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6443-1633), ulkuyedudu.gul@bilecik.edu.tr

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2247-3506), gizemkirimli88@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI:10.31590/ejosat.1013441)

ATIF/REFERENCE: Gül, Ü. D. & Bayazıt, G. (2021). Yenilenebilir Enerji Üretiminde Mikrobiyal Biyoproseslerin Kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1312-1316.

Öz

Artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte enerji taleplerindeki hızlı artış tüm dünya ülkelerinde endişe oluşturmaktadır. Mevcut senaryoda konvansiyonel enerji kaynaklarının sınırlı mevcudiyeti ve yenilenemeyen fosil yakıtların hızla tükenmesi nedeniyle dünya oldukça büyük bir enerji krizine tanıklık etmektedir. Bu bağlamda artan nüfus, küresel ısınma ve sera gazı emisyonları gibi tehlikeli çevresel sorunların üstesinden gelinmesi için dünyanın enerji gereksinimlerini karşılayabilecek alternatif yenilenebilir yakıtların araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda bakteriler ve algler gibi mikroorganizmaların kullanımı ile organik bileşiklerde saklı kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi gibi konulara yönelik çalışmalara ilgi artmaktadır. Günümüzde mikrobiyal metabolik faaliyetlerle (özellikle çok çeşitli biyokütle ve biyolojik substratların kullanımı) yenilenebilir enerji üretimi enerji kıtlığı sorununa pratik bir çözüm olarak kabul edilmektedir. Mikrobiyal yakıt hücreleri organik bileşiklerde toplanmış enerjiyi oksitlemek suretiyle katalizleyerek bioelektriğe dönüştürebilmektedir. Ayrıca mikroorganizmalar doğal metabolik faaliyetleri ile enerji kaynağı olarak kullanılacak ürünlerde üretebilmektedirler. Bu duruma örnek olarak birçok mikroorganizmanın karbonhidratları kolayca alkole dönüştürebilme yeteneğini verebiliriz. Bununla birlikte, mikrobiyal yakıt teknolojileri güvenilirliği, yüksek verimliliği, temizliği ve minimum düzeyde toksik veya tamamen toksik olmayan yan ürünler üretmesi gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlar nedeniyle yenilenebilir enerji üretimi için alternatif bir kaynak olarak mikrobiyal yakıt teknolojisinin kullanılması son dönemlerde ileri teknolojik biyoprosesler arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı mikroorganizmalar kullanımı ile biyoyakıt ve biyoenerji üretim tekniklerinin kilit noktalarını vurgulamak ve mikrobiyal biyoproseslerle enerji üretiminin faydalarını incelemektir.

Keywords: Biyokütle, Biyoyakıt, Metabolik Mühendislik, Biyoenerji, Yenilenebilir Enerji.

Use of Microbial Bioprocesses in Renewable Energy Production

Abstract

With the increasing population and industrialization, the rapid increase in energy demands is a great concern in all countries of the world. In the current scenario, the world is witnessing a major energy crisis due to the limited availability of conventional energy sources and the rapid depletion of non-renewable fossil fuels. In this context, there is a need to search for alternative renewable fuels that can meet the world's energy needs in order to overcome dangerous environmental problems such as increasing population, global warming and greenhouse gas emissions. Recently, there has been an increasing interest in studies on the use of microorganisms such as bacteria and algae to convert of chemical energy stored in organic compounds into electrical energy. Today, renewable energy generation by microbial metabolic activities (especially the use of a wide variety of biomass and biological substrates) is considered a practical solution to the problem of energy scarcity. Microbial fuel cells can convert the energy collected in organic compounds into bioelectricity by catalyzing by oxidation. In addition, microorganisms can produce products that can be used as energy sources with their natural metabolic activities. For example, many microorganisms can easily convert carbohydrates into alcohol. However, microbial fuel technologies have advantages such as reliability, high efficiency, cleanliness, and producing minimal or completely non-toxic by-products. Due to these advantages, the use of microbial fuel technology as an alternative source for renewable energy production is among the advanced technological bioprocesses recently. The aim of this study is to highlight the key points of biofuel and bioenergy production techniques with the use of microorganisms and to examine the benefits of energy production by microbial bioprocesses.

Anahtar Kelimeler: Biomass, Biofuel, Metabolic Engineering, Bioenergy, Renewable Energy.

1. Giriş

Artan kentleşme ve sanayileşmeye yol açan aşırı nüfus artışı nedeniyle dünya çapında çevre kirliliği vakalarında da artış gözlenmektedir. Bu tür faaliyetler insan uygarlığını yeni bir düzeye getirmiş olsa da, mevcut yenilenebilir olmayan kaynaklar, büyük miktarda atık üretimi ile birlikte hızla tükenmektedir (Chia vd., 2022). Fosil yakıt seviyesindeki hızlı düşüş ve dünya çapında artan enerji ihtiyacı, çevrede artan sera gazı birikimini azaltmak için geleneksel fosil yakıtların yerini alabilecek ikame yakıtların üretilmesini gerektirmiştir (Ramamrthy vd., 2021). Mikroorganizmaların kullanımıyla daha kaliteli yan ürünlerin daha ekonomik olarak oluşumu, maliyetli, toksik ve sürdürülemez olan sentetik kimyasalların kullanımını azaltmak için büyük önem arz etmektedir (Ramamrthy vd., 2021). Bu nedenle, günümüzde verimli ve ekolojik açıdan faydalı yenilenebilir enerji yakıtlarının tespit edilmesi, olumsuz iklim sorunlarını azaltmak için geleneksel yakıtları anında ikame etme yeteneğini gösteren dünya çapında ana gereksinimdir (Kumar ve Kumar, 2017). Biyokütle ve biyolojik kalıntılardan yenilenebilir enerji kaynakları üretmek için çok yönlü mikroorganizmaların kullanılması daha büyük önem taşımaktadır, bu nedenle günümüzde mikroorganizmaların aracılığıyla farklı biyoyakıtların sentezine yönelik odaklanma artmaktadır (Guimaraes, 2012). Bu durum temel olarak, farklı kısımlardan biyoyakıtların üretilmesine izin veren çeşitli mikroorganizmaların metabolik çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır (Ramamrthy vd., 2021). Mikrobiyal biyoteknoloji; mikrobiyal kaynaklı karbonhidratların, ligninlerin ve gliserollerin biyoenerji üretimi gibi çeşitli yenilenebilir kaynaklara dönüştürülmesi için mikroorganizmaların ve enzimlerinin kullanıldığı sürdürülebilir biyoprosesler için önemli stratejiler içermektedir (Tanvir vd., 2021). Tarlalarda tarımsal ve endüstriyel atıkların birikmesi zararlı çevre sorunlarına yol açmaktadır (Ramamrthy vd., 2021). Bu sorunu azaltmak için mikroorganizmalar, mikrobiyal fermentasyon yöntemleri gibi çeşitli biyoteknolojik proseslerde büyük ekonomik öneme sahiptir (Ramamrthy vd., 2021). Buna ek olarak, mikroorganizmalar biyoteknolojik kullanım kapasitesine sahip hayati enzim kaynakları oldukları için biyokütlenin ayrı kullanımı veya biyodönüşümde yardımcı olarak kullanımı gibi çok yönlü kullanımları mevcuttur (Tanvir vd., 2021).

Biyoteknolojinin önümüzdeki dönemde enerji kaynaklarına önemli katkısı olabileceği öngörülmektedir. Özellikle fosil yakıt kaynaklarının bulunmadığı ülkeler için, mikroorganizma kullanılarak biyoyakıt üretiminin enerji arzının büyük ölçüde sağlanmasına yardımcı olabileceği ve yenilenebilir enerji üretim biyoproseslerinin Avrupa Birliği tarafından büyük ölçüde desteklenebileceği olumlu bir güvence olarak kabul edilmektedir (Ramamrthy vd., 2021). Biyokütle enerjisinin önde gelen yönleri olan biyodizel ve biyoetanölün yanı sıra biyohidrojen, aynı zamanda günümüz ve gelecekte ekonomik ve yenilenebilir enerji kaynağı için verimli ve uygulanabilir bir alternatif yön olarak kabul edilmektedir (Ramamrthy vd., 2021).

2. Mikrobiyal Biyoyakıt Üretimi

Mikrobiyal biyoyakıt üretimini artırmak için tek bir mikroorganizma kullanmak yerine konsorsiyum olarak gruplanan mikroorganizmaların kullanımı tercih edilmektedir. Bu tür konsorsiyumlar farklı mikroorganizmaları içerebilir örneğin: (i) Lignoselülozik biyokütleyi hidrolize edilmesinde

gerekli enzimi sentezlemek için *Trichoderma reesei* ve *Saccharomyces cerevisiae* kullanılır, (ii) *Scheffersomyces stipitidis*, sırasıyla heksoz ve pentoz şekerlerinden yararlanmak için kullanılır, (iii) Kombine selüloz ve sorbitol ortamına batırılmış *Penicillium echinulatum* tarafından sentezlenen selüloz ve ksilanaz, lignoselülozik biyokütleden biyoetanöl oluşumuna yardımcı olabilir, (iv) *Anoxybacillus flavithermus* suşunun TWXYL3'ten türetilen, termostabil ve alkali stabil olan ksilanaz, ucuz, ekonomik ve yenilenebilir enerji üretimine büyük ölçüde katkıda bulunabilir (Rastogi ve Shrivastava, 2017; Ritter vd., 2013).

Mikrobiyal biyoyakıt üretiminde biyokütle yapısına katılan çeşitli makromoleküller ve bu molekülleri hidrolizle parçalayan mikrobiyal enzimler kullanılmaktadır.

2.1. Yağ Ekstraksiyonu

Mikrobiyal biyokütle yapısına katılan yağlar önemli biyoyakıt hammaddesi olarak kabul edilmektedir. Yağların temel yapısı yağ asitleri ve gliserolden oluşmaktadır. Yağ asitleri doymuş (nötral) ve doymamış (polar) yağ asitleri olarak ikiye ayrılmaktadır (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Doymuş yağ asitlerinde tek bağ bulunurken, doymamış yağ asitlerinde çift bağlar bulunmaktadır (Mubarak vd., 2015). Biyokütlesinde %20'den fazla miktarda yağ içeren mikroorganizmalar yağ üreten mikroorganizmalardır (Darcan ve Sarıgül, 2015). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda biyodizel üretimi için hammadde olarak mikrobiyal yağların kullanılması önerilmektedir (Darcan ve Sarıgül, 2015). Bu nedenle çeşitli mikroorganizmaların yağ asiti ester profillerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, yüksek yağ oranına sahip mikroalglerin yağ asidi profili C12-C22 arasındadır (Halim vd., 2012). Mikroorganizmalardan yağ asitlerinin ekstraksiyon işlemleri fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleşir. Fiziksel yöntemler; mikrodalga yoluyla ekstraksiyon, ultrasonik ekstraksiyon, mekanik sıkıştırıcı kullanılarak yapılan ekstraksiyondur. Kimyasal yöntemler; solvent yardımı ile yapılan ekstraksiyonlar, süperkritik CO₂ ekstraksiyonu ve iyonik sıvılar kullanılarak yapılan ekstraksiyonlardır (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Çılgın (2015) yapmış olduğu bir çalışmada, mikroalg yağdan transesterifikasyon metodu ile elde ettiği mikroalg kaynaklı biyodizelin, yüksek motor performansına sahip olmanın yanı sıra çevre açısından diğer yakıtlara göre daha az zararlı emisyonlara sahip olduğunu göstermiştir (Çılgın, 2015).

2.2. Biyodizel Üretimi

Biyodizel, ham petrolden türetilen dizel yakıtı çok benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere (karbon zincir uzunluğu, enerji yoğunluğu ve viskozite) sahiptir ve potansiyel olarak mevcut içten yanmalı motorlarda "düşürme" yakıt olarak kullanılabilir (Tanvir vd., 2021). İçerisinde trigliserid olan hayvansal ve bitkisel yağlardan üretilen biyodizel, gliserol ve metanolün reaksiyonu sonucu meydana gelmektedir (Harun vd., 2010). Trigliserit molekülünün alkol ve bazın tepkimesi sonucu, yağ esterleri ve gliserin oluşumu gözlenir ve bu dönüşüm reaksiyonuna transesterifikasyon denir (Viegas vd., 2015). Transesterifikasyon reaksiyonunun tamamlanması için, mikrobiyal kütleden çıkarılan yağ 60°C'ye ısıtılan manyetik ısıtıcıda 80 saat beklemeye alınır ve sonucunda biyodizel-gliserinden oluşan iki fazlı karışım elde edilir (Stojkovic vd., 2014). Gliserin yüksek yoğunluğa sahip olduğu için alt fazda, biyodizel de üst fazda bulunur, ayırma hunisi ile ayrılan

fazlardan damıtma yada flaş buharlaştırma yoluyla alkol geri kazanılır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Alkol ve sudan uzaklaştırılan ham gliserin, ilaç ve kozmetik endüstrisinde kullanılmaktadır (Sugözü vd., 2010). Biyodizel fazı, içinde bulunan çok az miktarda baz ve sabundan saf su ile yıkanarak nötr hale getirilir ve viskoziteli biyodizel elde edilmiş olur (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

Tablo 1'de dizel ve biyodizel yakıtlarının özellikleri karşılaştırılmıştır. Tablo 1'de de görüldüğü üzere, dizel ve biyodizel yakıtlarının özellikleri birbirine benzemektedir. Biyodizelin alevlenme noktasının daha yüksek olması, taşınma ve depolanma açısından avantaj sağlamaktadır (Viegas vd., 2015; Stojkovic vd., 2014).

Table 1. Dizel ve Biyodizel Yakıtlarının Özellikleri

Yakıt Özellikleri	Biyodizel	Dizel
Formül	$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,2}H_{23,3}S_{0,06}$
Molekül Ağırlığı	296	120-320
Özgül Ağırlık	0,87-0,88	0,82-0,86
Viskozite	4,3	2,5-3,5
Tutuşma Katsayısı	>55	49-55
Alevlenme Noktası	>100	>55
Su Miktarı	<300	<200

2.3. Biyohidrojen Üretimi

Moleküler hidrojenin fotosentetik üretimi, yenilenebilir enerji üretmeye yönelik en umut verici yaklaşımlardan biri olarak kabul edilir. Hidrojen gazı son derece portatiftir ve 10.1 MJ/L'ye (sıvılaştırılmış) eşdeğer 142 MJ/kg'lık bir ısıtma değeri içerir. Yandığında son ürün olarak sadece su yayar (Khetkom vd., 2017). Hem oksijensiz hem de oksijenli fototrofik mikroorganizmalar, fotofermentasyon veya N_2 fiksasyonunun metabolizması yoluyla güneş enerjisi kullanarak hidrojen üretebilir (Vasiliadou vd., 2018; Bothe vd., 2010). Birçok siyanobakteriyel tür, atmosferik nitrojeni amonyaka (NH_3) dönüştürür ve nitrojen sabitleme işleminin bir parçası olarak H_2 'yi yan ürün olarak boşaltır. Siyanobakteriler, atmosferik nitrojen yoksa H_2 üretimi için karbondioksit kullanırlar (Alam ve Wang, 2019).

Fototrofik mikroorganizmalardaki hidrojen üretim potansiyeli, suya özgü enzimatik aktivitelere ve çevresel koşullara bağlıdır (Khetkom vd., 2017). Fotobiyolojik hidrojen üretimi için en yaygın olarak kullanılan mikroalgler ve siyanobakteriler, hücrelerinde önemli miktarda hidrojenaz enzimi içeren *Botryococcus*, *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Synechocystis*, *Tetraspora*, *Anabaena* ve *Nostoc* cinsleridir (Eroğlu ve Melis, 2011). Yapılan çalışmalarda farklı türler arasında *Chlamydomonas reinhardtii* ve *Anabaena spp.* türlerinin yüksek oranda hidrojen üretimine sahip olduğu bildirilmiştir (Majidian vd., 2018; Bahadar ve Khan, 2013; Borowitzka vd., 2016).

2.4. Biyoetanol Üretimi

Biyoetanol, renksiz, berrak ve kendine has kokusu olan bir sıvı olup, glikozun mikroorganizmalar tarafından fermente edilmesi ile üretilmektedir (Melikoğlu ve Albostan, 2011).

Biyoetanol üretim süreçleri, biyokütlenin türüne, mevcudiyetine ve şeker içeriğine göre önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Bu bağlamda

Afrika palmyesi, muz, pirinç, kakao ve mikroorganizmalar gibi farklı substratlar enerji üretimi için yüksek potansiyele sahip

yenilenebilir enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir (Noboa vd., 2021).

Biyoetanol üretiminin temeli fermentasyon teknolojileridir (İnal, 2011). Biyoetanol daha çok mayalar tarafından üretilir, özellikle *Saccharomyces cerevisiae* türü bu türün fermentasyon hızının yüksek olması, yüksek toleransa sahip olması ve hızlı çoğalabilmesi tercih edilme sebepleridir (Bengisu, 2014). Biyoetanol fermentasyonunda 1 molekül glikoz metabolize edilerek 2 molekül pirüvata dönüşmektedir (İnal, 2011). Oluşan pirüvat CO_2 salınımı ile etanole indirgenir (İnal, 2011). Chen vd. (2021) yapmış oldukları bir çalışmada, *Saccharomyces cerevisiae* ile % 90 verim ile biyoetanol üretimi gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir (Chen vd., 2021).

2.5. Biyogaz Üretimi

Biyogaz tipik olarak % 45-70 metan, % 20-55 CO_2 ve ayrıca az miktarda H_2S , H_2O ve hidrokarbondan oluşur (Zabed vd., 2021). Biyogaz biçimindeki yeşil enerji, anaerobik parçalanma gibi yerleşik teknolojilerle fototrofik mikroorganizmalardan üretilmektedir. Hem tamamıyla biyokütle hem de lipitten ekstrakte edilen biyokütle, biyogaz üretimi için kullanılabilir (Tanvir vd., 2021). Güçlü biyogaz üreten mikrobiyal fototroflar, yüksek büyüme hızına, düşük holoselüloz içerikli ince hücre duvarına, daha yüksek çevresel uyarlabilirliğe ve gelişmiş sindirim verimliliği ve metan içeriği için daha fazla sitoplazmik bileşene sahip olmalıdır (Tijani vd., 2015). *Anabaena cylindrica*, *Chlorella sorokiniana*, *Scenedesmus obliquus*, *Spirulina platensis* ve *Synechococcus sp.* türleri önceden belirtilen kriterlere göre en fazla biyogaz üreten türler olarak tanımlanmıştır (Bose vd., 2019).

Anaerobik parçalanma; hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumu olmak üzere 3 aşamada meydana gelir (Speece, 1996). Hidroliz aşamasında, organik moleküller mikroorganizmaların hücre dışı enzimleri ile daha küçük ve daha basit yapıları moleküllere dönüşmektedir; asit oluşumu aşamasında, organik moleküller valerik asit, bütirik asit, propiyonik asit ve asetik asit gibi organik asitlere, ve metanola, çözünmüş karbondioksitler etanol, H_2 ve CO_2 'e, amino asitler, süksinik asit ve H_2 'e, yağ asitleri ise asetat ve H_2 'e dönüşmektedir; metan oluşum aşamasında ise asit oluşum aşamasında oluşan organik asitler, H_2 ve asetat, metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve biyogaza dönüştürülmektedir (Speece, 1996).

Üretilen biyogazın genellikle elektrik üretimi için kullanılabilirliği yaygındır Chia vd., 2022).

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, çeşitli mikroorganizmalar kullanımı ile biyoyakıt ve biyoenerji üretim tekniklerinin kilit noktaları vurgulanmış ve mikrobiyal biyoproseslerle enerji üretiminin faydaları incelenmiştir. Dünyanın artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji ve yakıtların üretimi son derece önem arz etmektedir. Mikrobiyal yakıt hücreleri doğal fotosentetik faaliyetleri ile hidrojen, fermantasyon yolu ile biyoetanol, anaerobik parçalanma ile biyogaz üretebilmektedirler. Mikrobiyal yakıt teknolojileri güvenilirliği, yüksek verimliliği, çevre dostu olması ve minimum düzeyde toksik veya tamamen toksik olmayan yan ürünler üretmesi gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlar nedeniyle yenilenebilir enerji üretimi için alternatif bir kaynak olarak mikrobiyal yakıt teknolojisinin kullanılması son dönemlerde ileri teknolojik biyoprosesler arasında tercih edilmektedir.

Kaynakça

Alam, M.A., Wang, Z. 2019, Microalga Biotechnology for Development of Biofuel and Wastewater Treatment, 1st ed., Singapore: Springer.

Bahadar, A., Khan, M.B. 2013, Progress in energy from microalgae: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27:128-148.

Bengisu, G. 2014, Alternatif Yakıt Kaynağı Olarak Biyoetanol, Alınları Zirai Bilimler Dergisi, 27:43-52.

Borowitzka, M.A., Beardall, J., Raven, J.A. 2016, The Physiology of Microalgae, 1st ed., Switzerland: Springer.

Bose, A., Lin, R., Rajendran, K., O'Shea, R., Xia, A., Murphy, J.D. 2019, How to optimise photosynthetic biogas upgrading: a perspective on system design and microalgae selection, Biotechnology Advances, 37.

Bothe, H., Schmitz, O., Yates, M.G., Newton, W.E. 2010, Nitrogen Fixation and Hydrogen Metabolism in Cyanobacteria, Microbiology and Molecular Biology Reviews, 74:529-551.

Chen, Z., Niu, Y., Chen, C., Li, H. 2021, Optimization of bioethanol fermentation productivity in *Saccharomyces cerevisiae* by regulation of social behavior, Chemical Engineering Science, 246.

Chia, S.R., Nomanbhay, S.B.H.J.M., Chew, K.W., Munawaroh, H.S.H., Shamsuddin, A.B.D.H., Show, P. L. 2022, Algae as potential feedstock for various bioenergy production, Chemosphere, 287.

Çilgin, E. 2015, 3. Nesil Biyoyakıt Teknolojisi Algelerin bir Dizel Motorunda Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3:33-41.

Darcan, S., Sarıgül, N. Mikroorganizmalardan Tek Hücre Yağları Üretimi, Türk Mikrobiyal Cem Derg., 45:55-67.

Elcik, H., Çakmakçı, M. 2017, Mikroalg üretim ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32:795-820.

Eroglu, E., Melis, A. 2011, Photobiological hydrogen production: Recent advances and state of the art, Bioresource Technology, 102:8403-8413.

Guimaraes, L.H.S. 2012, Carbohydrates from Biomass: Sources and Transformation by Microbial Enzymes, INTECH Open Access Publisher.

Halim, R., Danquah, M.K., Webley, P.A. 2012, Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: A review, Biotechnology Advances, 30:709-732.

Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., Danquah, M.K. 2010, Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14:1037-1047.

İnal, M. 2011, Sodyum Aljinat-Aşı-Poli (N-Vinil-2Pirolidon)'a İmmobilize Edilmiş Bazı Maya Türlerinden Biyoetanol Üretimi, Kimya Anabilim Dalı Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Khetkorn, W., Rastogi, R.P., Incharoensakdi, A., Lëndblad, P., Madamwar, D., Pandey, A., Larroche, C. 2017, Microalgal hydrogen production - A review, Bioresource Technology, 243:1194-1206.

Kumar, R., Kumar, P. 2017, Future Microbial Applications for Bioenergy Production: A Perspective, Frontiers in Microbiology, 8.

Majidian, P., Tabatabaei, M., Zeinolabedini, M., Naghshbandi, M.P., Chisti, Y. 2018, Metabolic engineering of microorganisms for biofuel production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82:3863-3885.

Melikoğlu, M., Albostan, A. 2011, Türkiye'de Biyoetanol Üretimi ve Potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26:151-160.

Mubarak, M., Shaija, A., Suchithra, T.V. 2015, A review on the extraction of lipid from microalgae for biodiesel production, Algal Research, 7:117-123.

Noboa, J.D., Bernal, T., Solar, J., Pena, J.A. 2021, Kinetic modeling of batch bioethanol production from CCN- 51 Cocoa Mucilage, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 16.

Özdemir, Z. Ö., Mutlubaş, H. 2016, Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri, Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 2:129-143.

Ramamurthy, P.C., Singh, P., Kapoor, D., Parihar, P., Samuel, J., Prasad, R., Kumar, A., Singh, J. 2021, Microbial biotechnological approaches: renewable bioprocessing for the future energy systems, Microbial Cell Factories, 20.

Rastogi, M., Shrivastava, S. 2017, Recent advances in second generation bioethanol production: An insight to pretreatment, saccharification and fermentation processes, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80:330-340.

Ritter, C.E.T., Camassola, M., Zampieri, D., Siveria, M.M., Dillon, J.P. 2013, Cellulase and Xylanase Production by *Penicillium echinulatum* in Submerged Media Containing Cellulose Amended with Sorbitol, Enzyme Research, 6.

Speece, R.E. 1996, Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment, Environmental Science and Technology, 17:416-427.

Stojkovic, I. J., Stamenkovic, O.S., Povrenovic, D.S., Veljkovic, V.B. 2014, Purification technologies for crude biodiesel obtained by alkali-catalyzed transesterification, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32:1-15.

Sugözü, İ., Öner, C., Altun, Ş. 2010, The Performance and Emissions Characteristic of a Diesel Engine Fueled with Biodiesel and Diesel Fuel, Int.J.Eng.Research & Development, 2: 50-53.

Tanvir, R.U., Zhang, J., Canter, T., Chen, D., Lu, J., Hu, Z. 2021, Harnessing solar energy using phototrophic microorganisms: A sustainable pathway to bioenergy, biomaterials, and environmental solutions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 146.

- Tijani, H., Abdullah, N., Yuzir, A. 2015, Integration of microalga biomass in biomethanation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52:1610-1622.
- Vasiliadou, I., Berna, A., Manchon, C., Melero, J.A., Martinez, F., Núñez, A.E., Puyol, D. 2018, Biological and Bioelectrochemical Systems for Hydrogen Production and Carbon Fixation Using Purple Phototrophic Bacteria, *Frontiers in Energy Research*, 6.
- Viegas, C.V., Hachemi, I., Freitas, S.P., Arvela, P.M., Aho, A., Hemming, J., Smeds, A., Heinmaa, I., Fontes, F.B., Pereira, D.C.S., Kumar, N., Aranda, D.A.G., Murzin, D.Y. 2015, A route to produce renewable diesel from algae: Synthesis and characterization of biodiesel via in situ transesterification of *Chlorella* alga and its catalytic deoxygenation to renewable diesel, *Fuel*, 155:144-154.
- Zabed, H.M., Akter, S., Yun, J., Zhang, G., Zahng, Y., Qi, X. 2020, Biogas from microalga: Technologies, challenges and oppurtunities, *Renewable and Sustainable Energy R
e
v
i
e
w
s
,
1
1*



Detection of DIS Flooding Attacks in IoT Networks Using Machine Learning Methods

Semih Çakır¹, Nesibe Yalçın^{2*}

¹ Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Computer Sciences, Zonguldak, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3072-9532), semih.cakir@beun.edu.tr

^{2*} Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Kayseri, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0324-9111), nesibeyalcin@erciyes.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1014917)

ATIF/REFERENCE: Çakır, S. & Yalçın, N. (2021). Detection of DIS Flooding Attacks in IoT Networks Using Machine Learning Methods. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1317-1320.

Abstract

In today, Internet of Things (IoT) has a wide usage area and makes easier our lives with smart objects that can communicate with each other without human intervention. However, as with Wireless Sensor Networks, IoT networks bring new risks. These risks reaching worrying levels cause some significant issues such as security, privacy, and energy in the network topology. The IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Network (RPL) is a routing protocol for resource-constrained devices in IoT networks. When it transmits packets between nodes, the nodes can be exposed to a series of attacks. DODAG Information Solicitation (DIS) Flooding attack is one of the most effective types of attacks against this protocol and negatively affects the energy level of the node and its limited processing capacities. Although many intrusion detection methods are used to detect attacks in IoT security, innovative and energy-saving methods are needed. DIS Flooding attacks detection and prevention methods have not been adequately presented in the literature. To address the mentioned need, this study provides high-performance detection of DIS Flooding attacks by applying Logical Regression (LR) and Support Vector Machine machine learning methods. The experiments are implemented by using the Contiki-Cooja simulation environment and the experimental results have been evaluated using various performance metrics. It can be concluded that LR achieves higher attack detection in terms of accuracy.

Keywords: Attack Detection, DIS Flooding, Internet of Things, Machine Learning, RPL.

Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Nesnelerin İnterneti Ağlarında DIS Flooding Saldırılarının Tespiti

Öz

Günümüzde Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) geniş bir kullanım alanına sahip olup insan müdahalesi olmaksızın birbirleriyle haberleşebilen akıllı nesnelerle hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Ancak Kablosuz Algılayıcı Ağlar'da olduğu gibi, IoT ağları da yeni riskleri beraberinde getirmektedir. Endişe verici boyutlara ulaşan bu riskler, ağ topolojisinde güvenlik, gizlilik ve enerji gibi bazı önemli sorunlara neden olmaktadır. Düşük Güç ve Kayıplı Ağlar için IPv6 Yönlendirme Protokolü (RPL), IoT ağlarındaki kaynak kısıtlı cihazlar için bir yönlendirme protokolüdür. Düğümler arasında iletilen paketler bir dizi saldırıya maruz kalabilir. DODAG Information Solicitation (DIS) Flooding saldırısı, bu protokole karşı en etkili saldırı türlerinden biridir ve ağ içerisinde yer alan düğümlerin enerji seviyesini ve işlem kapasitelerini olumsuz etkiler. IoT güvenliğinde saldırıları tespit etmek için birçok saldırı tespit yöntemi kullanılsa da yenilikçi ve enerji korunumlu yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. DIS Flooding saldırılarını tespit etme ve önleme yöntemleri literatürde yeterince ele alınmamıştır. Söz konusu eksikliği gidermek için bu çalışmada, Lojistik Regresyon (LR) ve Destek Vektör Makinesi yöntemleri kullanılarak DIS Flooding saldırılarının yüksek doğruluk oranı ile tespiti gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Contiki-Cooja simülasyon ortamı kullanılmış ve deneysel sonuçlar çeşitli performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucuna göre, LR yöntemi DIS Flooding saldırı tespitini daha yüksek başarımla gerçekleştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: DIS Flooding, Makine Öğrenmesi, Nesnelerin İnterneti, RPL, Saldırı Tespiti.

1. Introduction

A new networking architecture known as the Internet of Things (IoT) offers to make life easier and more comfortable by transforming every physical object inside our surroundings into a smart object capable of sensing the environment and communicating with the other smart things in the network. IoT has contained some components such as sensors-actuators, identifiers, software, and wireless network technology [1].

- Sensors-actuators: to gather information from the network environment.
- Identifiers: identifying the data source
- Software: analyzing data
- Wireless network technology: to inform and communicate

A rapidly growing number of sensors, actuators, and smart devices connected to the Internet have gained acceleration to IoT. Specifically, it allows gathering information and remote control of real objects through the internet, thereby integration between real-world and computer-based systems and leads to better reliability, accuracy, and financial benefits. However, the increasing number of devices and their integration with the network environment has attracted many security risks [2]. The security risks can be extremely dangerous for sensitive information. Especially cyber attacks have occurred in big enterprises so an attacker can steal company reports, credit card information, and users' privacy documents.

IoT security is an important issue for the network system's sustainability. It can be exposed to the destructive effects of attacks due to the inconvenience of the limited resource structure. As IoT devices become commonly used and their number increases, the attacks targeting IoT devices are expected to grow in the future.

Routing protocol for Low Power and Lossy Networks (LLNs) (RPL) is the most important routing protocol for Internet Protocol version 6 (IPv6) based Low-power Wireless Personal Area Networks. There have been occurred many cyber-attacks to the tremendous quantity of IoT applications and their integration services via the internet. The most common RPL attacks directly target nodes' resource consumption in the IoT environment. Thus, IoT has to overcome the negative effects of cyberattacks such as the massive loss of data packets, heavy computational load, and node's energy consistency for LLNs.

The remainder of this article is divided into four sections: Section 2 provides a detailed discussion on IoT network security, attack types, and attack detection approaches. Section 3 gives an overview of scenarios, IoT network design, and simulation. Section 4 presents the effectiveness of the network according to scenarios, the detection of the DIS Flooding attacks using Logical Regression (LR) and Support Vector Machine (SVM) methods, and the performance comparison of these methods. Finally, Section 5 concludes achieved objectives and future works.

2. Related Works and Background

Some machine learning algorithms have been used to detect various attacks directly related to constrained energy sources such as Distributed Denial of Service (DDoS), Hello flooding, and Sybil attacks. Attack detection studies on RPL-based IoT networks in the scientific literature are listed in Table 1.

Table 1. Recent related works

Reference	Type of Attack	Method	Detection Rate (%)
[3]	DDoS	K-Means Expectation- Maximization	76.36 80.51
[4]	Hello flooding	Gated Recurrent Unit SVM LR	99.8 99 98.95
[5]	DDoS	Random Forest	above 96
[6]	DDoS	Optimized SVM SVM	97.6 89.8
[7]	DDoS	Multiple Linear Regression	97.86
[8]	DDoS	Artificial Neural Networks	98
[9]	Hello flood, DIS, increased version, and decreased rank	Random Forest Naïve Bayes	99.33 96.7
[10]	Sybil	SVM LR Decision Tree Random Forest	93 84 83 79
[11]	Sybil	A novel Artificial Bee Colony- inspired detection algorithm	average 95
[12]	Version number Hello flooding Blackhole	Kernel Density Estimation	96 90 68
<i>This article</i>	DIS flooding	LR SVM	99.16 96.92

In the literature, many different types of IoT attacks have been detected with over 80% accuracy, but an efficient and suitable solution has not been proposed yet for DIS flooding attacks against RPL [2], [13]. In this study, it is aimed to decrease the power consumption of the nodes in the IoT network and thus improve the efficiency of the network by detecting DIS flooding attacks.

3. Materials and Method

3.1. DODAG Buildings and Design

RPL is a standard routing protocol based on IPv6. IoT devices, which are using RPL, communicate with a particular topology that unifies mesh and tree topologies known as Destination Oriented Directed Acyclic Graphs (DODAG). A DODAG starts with a sink node which is a root node. RPL defines three control messages for sharing routings information of nodes and control DODAGs: DODAG Information Object (DIO), DODAG Advertisement Object (DAO), and DODAG Information Solicitation (DIS) messages.

The network topologies designed for a normal network (without any malicious nodes) and a network with a malicious node sending DIS message periodically are presented in Fig. 1(a) and Fig. 1(b), respectively.

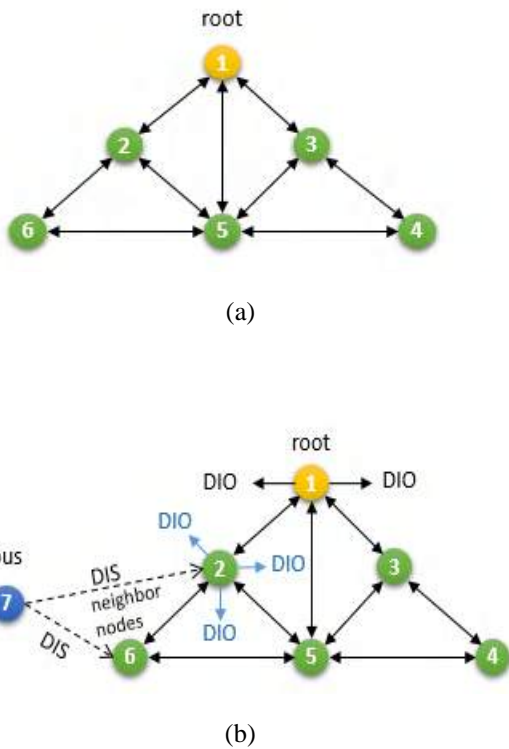


Fig. 1. The network topologies scenarios: (a) before DIS flooding attack, (b) when DIS Flooding attack happened

Nodes utilize DIS messages to join the IoT network in RPL. A malicious node sends continuously the floods of DIS message to its nearby nodes until it gets a DIO message in order to join an existing DODAG. This situation increases power consumption and causes latency and high computational load [2].

3.2. Proposed Methodology

Nodes (Skymote) are added into the simulator environment according to the scenario and the IoT network is built. The contents of the message packets sent by the nodes are captured and filtered. After simulation, all data is exported to an Excel file. The features required for the total energy consumption are extracted and a dataset is generated for attack detection using machine learning methods. The dataset is then normalized and divided into two subsets: the training and test datasets. Attacks are detected by machine learning algorithms and nodes are classified as “normal” and “malicious”. The workflow of the proposed model in this study for DIS Flooding attack detection is given in Fig 2.

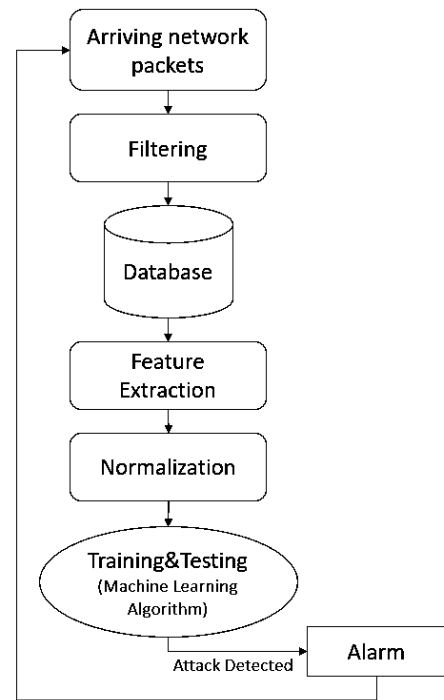


Fig. 2. The workflow of DIS Flooding attack detection and prevention

In the study, the networks before the DIS flooding attack and during the attack have been simulated using Contiki-Cooja. Node identification (ID), Central Processing Unit (CPU), Low Power Mode (LPM), transmit (Tx), receive (Rx) and total energy (TE) features have been selected from the simulation data and then the data have been normalized. Min-max normalization, which is the most popular method, has been used for scaling the selected features. The normalized data have been divided into a 80:20 ratio for training and test processes. SVM and LR algorithms are used for attack detection.

4. Simulation Results and Performance Evaluation

In this study, DIS Flooding attacks have been detected with LR and SVM machine learning algorithms, which are widely used in the literature. In order to train the SVM and LR algorithms and to analyze the impact of the DIS flooding attacks on the network,

a simulation scenario including a malicious node has been created as given in Table 2.

Table 2. A simulation scenario of DIS Flooding attack

Parameter	Scenario
Total number of nodes	5
Number of sink nodes	1
Number of normal nodes	3
Number of DIS flooding attacker nodes	1

Based on the scenario, the network is simulated for 15 minutes of simulation time. The obtained simulation data consists of ID, CPU, LPM, Tx, Rx, and TE numerical values calculated for each node during the simulation and then normalized using the standard min-max normalization.

The performance of LR and SVM methods is evaluated in terms of accuracy, recall, precision, Mathew Correlation Coefficient (MCC), F1-score, Area under Receiver Operating Characteristic (ROC) curve (AUC), and Cohen's Kappa. Evaluation results are given comparatively in Table 3.

Table 3. The performance comparison of SVM and LR methods

Metric	LR	SVM
Accuracy	0.99	0.97
Precision	1.00	1.00
Recall	0.96	0.87
F1-score	0.98	0.93
MCC	0.98	0.92
Cohen's kappa	0.97	0.91
Roc_auc	0.98	0.93

LR has provided a better accuracy rate of 99.16% under the DIS Flooding attacks. According to the obtained results, both SVM and LR algorithms have presented the highest precision value of 1.00. The other performance metrics indicate that the LR algorithm is more successful results than SVM in the detection of DIS flooding attacks.

5. Conclusion

IoT devices generally have constrained memory and limited processing capabilities. Therefore, DIS Flooding attacks can easily exhaust their resources. In this study, a machine learning-based attack detection approach has been presented to detect DIS Flooding attacks in IoT network security. LR and SVM have achieved classification accuracy of 99.16% and 96.92%, respectively. Although LR and SVM have presented significant results within the scope of this study, some improvements are needed for network security, such as prevention and mitigation of the attacks. So in the future study, we will address how to effectively mitigate and isolate DIS Flooding attacks in RPL networks.

References

[1] A. Rayes, S. Salam, Chapter 1 Internet of Things (IoT) Overview, *Internet of Things From Hype to Reality*,

Springer Nature Switzerland AG, pp. 1-35, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99516-8_1

[2] A. Verma and V. Ranga, "Mitigation of DIS flooding attacks in RPL-based 6LoWPAN networks," *Trans Emerging Tel Tech.*, vol. 31(2), e3802, pp. 1-25, 2020. <https://doi.org/10.1002/ett.3802>

[3] V. Odumuyiwa and R. Alabi, "DDoS Detection on Internet of Things Using Unsupervised Algorithms", *Journal of Cyber Security and Mobility*, vol. 10, no. 3, pp. 569-592, 2021. <https://doi.org/10.13052/jcsm2245-1439.1034>

[4] S. Cakir, S. Toklu, and N. Yalcin, "RPL Attack Detection and Prevention in the Internet of Things Networks Using a GRU Based Deep Learning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 183678-183689, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029191>

[5] F. S. De Lima Filho, F. A. F. Silveira, A. De Medeiros Brito Junior, G. Vargas-Solar, and L. F. Silveira, "Smart Detection: An Online Approach for DoS/DDoS Attack Detection Using Machine Learning," *Security and Communication Networks*, vol. 2019, pp. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1574749>

[6] R. Abubakar, A. Aldegheshem, M. Majeed, A. Mehmood, N. Alrajeh, and M. Carsten, "An Effective Mechanism to Mitigate Real-time DDoS Attack Using Dataset", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 126215-126227, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2995820>

[7] S. Sambangi and L. Gondi, "A Machine Learning Approach for DDoS (Distributed Denial of Service) Attack Detection Using Multiple Linear Regression," in *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proc.*, vol. 63, p. 51, <https://doi.org/10.3390/proceedings2020063051>

[8] A. Saied, R. E. Overill, and T. Radzik, "Detection of known and unknown DDoS attacks using Artificial Neural Networks," *Neurocomputing*, vol. 172, pp. 385-393, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.04.101>

[9] M. Sharma, H. Elmiligi, F. Gebali, and A. Verma, "Simulating Attacks for RPL and Generating Multi-class Dataset for Supervised Machine Learning," in *2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, pp. 20-26, 2019. <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2019.8936142>

[10] M. Mounica, R. Vijayasaraswathi, and R. Vasavi, "Detecting Sybil Attack in Wireless Sensor Networks Using Machine Learning Algorithms," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1042, no. 1, p. 012029, 2021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1042/1/012029>

[11] S. Murali and A. Jamalipour, "A Lightweight Intrusion Detection for Sybil Attack Under Mobile RPL in the Internet of Things," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 379-388, Jan. 2020, <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2948149>

[12] N. Müller, P. Debus, D. Kowatsch, and K. Böttinger, "Distributed anomaly detection of single mote attacks in RPL networks," in *Proc. 16th Int. Joint Conf. e-Bus. Telecommun.*, vol. 2, pp. 378-385, 2019. <https://doi.org/10.5220/0007836003780385>

[13] A. Mayzaud, R. Badonnel, and I. Chrisment, "A taxonomy of attacks in RPL-based Internet of Things", *International Journal of Network Security*, vol. 18, no. 3, pp. 459-473, 2016. [https://doi.org/10.6633/IJNS.201605.18\(3\).07](https://doi.org/10.6633/IJNS.201605.18(3).07)



Remote Pre-Diagnosis of Pes Planus and Pes Cavus Using Arch Index

Kaan Eksen^{1*}, Safa Serif², Tacha Serif³

^{1*} Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5774-3807), kaan.eksen@persyslab.org

² General Hospital of Komotini "Sismanoglio", Komotini, Greece, (ORCID: 0000-0001-5458-656X), safa@drserif.com

³ Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1819-4926), tacha.serif@persyslab.org

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015097)

ATIF/REFERENCE: Eksen, K., Serif, S. & Serif, T. (2021). Remote Pre-Diagnosis of Pes Planus and Pes Cavus Using Arch Index. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1321-1329.

Abstract

According to the literature, people with foot deformities report poor quality of life and nearly one-third of the population has some type of foot deformity. Of all the deformities, Pes Planus, caused by the loss of the medial longitudinal arch of the foot, and pes cavus, caused by having an abnormally high plantar longitudinal arch, are the ones that negatively influence the productivity of society most. In the light of the above, this study proposes a novel mobile pre-diagnosis system for pes planus and pes cavus that is utilizing conventional deformity identification methods accepted in the literature through a mobile phone app by harnessing image processing and deep neural networks. As part of the study, a prototype is implemented and tested using 34 participants - 22 (64.71%) males and 12 (35.29%) females - with an average age of 24.06. In order to benchmark our prototype, an orthopedic specialist was asked to identify the key decision making points, which was then used to calculate the deformity type, on a set of foot images collected from participants. Then the same images were fed to the prototype with the objective of identifying the key points and calculating the deformity type via the help of image processing and deep learning algorithms. The comparison of the results showed that specialist's and prototypes findings were in 91.80% match, which indicated an overall success.

Keywords: Pes Planus, Pes Cavus, Vision, Image Processing, Orthopedics, Deep Learning

Arch Index ile Pes Planus ve Pes Kavus'un Uzaktan Ön Tanısı

Öz

Literatüre göre nüfusun yaklaşık üçte birinin bir tür ayak deformitesine sahip olduğu ve bunun kişilerin yaşam kalitesinin düşürdüğü bilinmektedir. Tüm deformiteler içinde ayağın medial longitudinal arkının kaybindan kaynaklanan Pes Planus ve anormal derecede yüksek plantar longitudinal arkın neden olduğu pes cavus toplum verimliliğini en çok olumsuz etkileyen deformitelerdendir. Yukarıdakiler ışığında, bu çalışmada pes planus ve pes cavus için literatürde kabul gören geleneksel deformite tanımlama yöntemlerini kullanan, görüntü işleme ve derin sinir ağları yardımıyla bir cep telefonu uygulaması konsepti geliştirilmesiyle birlikte yeni bir mobil ön tanı sistemi sunulmuştur. Çalışma kapsamında, yaş ortalaması 24,06 olan ve bunların 22'si (%64,71) erkek ve 12'si (%35,29) kadın olmak üzere toplamda 34 katılımcı üzerinde bir prototip mobil çözüm uygulanmış ve test edilmiştir. Çalışma boyunca, çalışmaya katılan katılımcılardan ayak görüntüleri toplanmış ve bir ortopedi uzmanından deformite tiplerini hesaplamak için kullanılan kilit karar verme noktalarının belirlenmesi istenmiştir. Daha sonra aynı görüntüler, görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları yardımıyla kilit noktaları belirlemek ve deformite tipini hesaplamak amacıyla prototipe beslenmiştir. Sonuçların karşılaştırılması, uzman ve prototip bulgularının %91.80 oranında uyum içinde olduğunu göstermiş ve bu da genel bir başarıya işaret etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pes Planus, Pes Cavus, Görüntü İşleme, Ortopedi, Derin Öğrenme.

* Corresponding Author: kaan.eksen@persyslab.org

1. Introduction

All of the organs and bones in the human body work in harmony with each other. A medical condition in any of these organs and joints affects the overall body negatively. For example, the deformation in the foot structure, which allows anatomically walking, standing upright, carrying body weight, and moving, affects physical fitness and quality of life [54].

There are many foot deformities in society, but pes planus and pes cavus negatively influence the community's productivity most. Therefore, diagnosis and treatment of the pes planus and pes cavus is of utmost importance to the society.

In the light of the above, this study aims to implement a mobile pre-diagnosis system for pes planus and pes cavus that uses image processing and deep neural networks to utilize traditional deformity recognition methods on a mobile phone app.

Accordingly, this paper is structured as follows; Section 2 introduces the overview of pes planus and pes cavus and previous research in the area. Section 3 provides an overview of the methodologies used in this domain. Section 4 contains the analysis and design of the proposed system. The following section presents the implementation of the prototype. Then the test and evaluation process of the paper is discussed in section 6. In section 7 discusses the results of the developed prototype system. The last section concludes and highlights the finding of this study.

2. Background

Accordingly, this section provides overview of important and relevant studies in available medical solutions and detection algorithms in pes planus and pes cavus.

2.1. Pes Planus & Pes Cavus

Irregularities and abnormalities in the normal structure of the medial longitudinal arch produce unbalanced and functionality-wise unstable conditions of the foot such as pes planus or pes cavus. Accordingly, pes planus is the loss of the medial longitudinal arch of the foot, which results with the entire bottom of the foot coming closer to the ground or directly touching the ground during standing or walking [1]. This arch serves as a flexible and adaptive foundation to the entire body [2]. Its functionality is vital to the body since, during the gait cycle, it reduces the pressures of weight-bearing and stores mechanical energy inside the stretched elastic ligaments [3]. Even though it may be asymptomatic, a defective medial longitudinal arch can alter the biomechanics of the lower limbs and lumbar spine, causing an increased risk of pain and injury [4].

The etiology of pes planus has multiple factors which can be either acquired or congenital. Most congenital pes planus deformities disappear by the age of six, which is fixed as part of normal human body development [5]. However, some congenital instances may continue after adulthood, these are mainly related to obesity [6]. Nevertheless, pes planus can be acquired as a result of other dysfunctioning extremities. One of the most common ways of acquiring pes planus is through functional problems related to the posterior tibial tendon, which supports the foot's arch and inversion and plantarflexion. Females over 40 with comorbidities such as diabetes and obesity are more likely to have posterior tibial tendon impairment [7]. In addition, pes planus can be developed more commonly in patients with congenital

ligamentous laxity secondary to Down syndrome, Marfan, or Ehlers Danos. Also, patients with midfoot or hindfoot trauma, such as navicular, first metatarsal and calcaneal fracture or Lisfranc ligament complex injury, can commonly develop pes planus.

On the other hand, pes cavus is a deformity that is characterised by elevation of the plantar longitudinal arch of the foot. The array of related deformities observed with pes cavus includes clawing of the toes, posterior hindfoot deformity, contracture of the plantar fascia, and defects in the great toe. Pes cavus is commonly a symptom of an underlying neurological disorder [8].

2.2. Available Medical Detection Solutions

Clinical examination, somatometric measurement, radiological evaluation, and ultrasonographic reviews have been used to detect pes planus and pes cavus. However, inked or digital footprints (pressure measurements) and photographic techniques are also used to detect pes planus and pes cavus in the literature, which are called indirect - i.e. non-anthropometric, measurements [9, 10]. The most accepted and widely used pes planus and pes cavus detection method are the Radiological evaluations [11,12].

Considering the well accepted radiographic detection approach, Chung et al. [13] bases their work to compare the arch index and radiological results of 103 subject's navicular and talar heights. Accordingly, their evaluations show that Clarke's angle, Chippaux-Smirak index, Staheli arch index respectively have 83.89%, 90.54% and 85.43% probability of prediction in preschool-aged children. Another study by Pauk et al. [14] compares Clarke angle and radiography measurements of sixty children. They also found a correlation between radiography and footprint method. Similarly, many studies have looked into the correlation between radiography and footprint methodologies [15, 16, 17].

Besides the above comparisons, there are a variety of studies in the literature that only use indirect methods to detect pes planus or pes cavus, such as arch index [18, 19] or planimeter [20]. Therefore, the usability of the indirect methods are proven to be successful.

Igbigbi et al. [19] used an arch index (footprint ratio) to determine arc type and pes planus ratio on 305 Maldivians subjects with their ages ranging between 13 and 17. In this study, participant foot data is collected by creating an imprint of the subject's sole using ink and a piece of paper. The authors note that the method used is more precise, robust, and cost-effective.

On the other hand, Kanatli et al. [15] compared radiologic measurements and footprint methods to determine the correlation between the two methods with 38 pre-schoolers and school-aged children with average age of 6.4 (ages ranging between 3.7–11.7). Based on the findings, the authors highlight significant correlation between arch index, talo–first metatarsal angle, and talo–horizontal angle. On the other hand, they found no significant correlation between arch index, calcaneal pitch, and lateral talocalcaneal angles.

With a similar Notion, a study [21] comparing footprint and radiographic measurements, which was conducted on 338 people, discovered a strong correlation between Staheli index, Chippaux-Smirak index and Grivas Classification System. On the other hand, as a result of the finding the authors emphasise that there is a weak correlation between the radiological measurement

methods calcaneal pitch angles and talo-first metatarsal angle and all three footprint measurement methods. Furthermore, the study results indicate that there is no significant correlation between talo-horizontal angle and footprint measurement methods.

2.3. Pes Planus & Pes Cavus Detection Algorithms

There are many developed systems to detect foot deformities, ranging between straightforward solutions such as planimeter [20] and much more complex systems like gait analysis [22].

Most commercially available systems use gait analysis [23, 24] to detect a variety of foot deformities. In addition, some of these systems use optical motion capture systems (OMCS) [25] to detect foot deformities. However, having this additional hardware for further precision increases the required investment amount.

On the other hand, some companies are developing low-cost products to fill the gap in the market by sacrificing sensitivity, such as Sennotech's Senno Gait. Sennotech [23] uses economical sensor and AI models for gait analysis. These systems are less expensive and accessible, providing various information such as injury risks and incorrect movement.

Pressure detection devices [26, 27] are also used in many studies [28, 29, 30]. The proliferation of these devices are much wider than the OMCS tools but they provide less feedback. As an example to these kind of studies, In their work, Buldt et al. [28] used EMED, a pressure detection system to determine pes planus and pes cavus.

3. Methodolog

Accordingly, this section provides an overview of the methodologies used in pes cavus and pes planus detection, machine learning, and image processing.

3.1. Pes Planus Pes & Cavus Detection

Radiological images are one of the most effective ways of detecting pes planus and pes cavus. However, pes planus and pes cavus may only be visible while feet are pressing on the sole. Therefore, radiological images are taken while pressing the foot on the ground and as a result, lateral radiographs are taken sideways or from the top of the knee and downwards for arch measurements.

There are many methods that have been used in the literature to determine the status of the foot using radiological images. The most popular of all can be named as calcaneal inclination angle, first metatarsal declination angle and Meary's angle.



Figure 1. Calcaneal inclination angle [31]

Calcaneal inclination angle (Figure 1) is the angle between the tangent line drawn from the lower face of the calcaneus and the ground [31]. The foot in question is considered healthy if the calcaneal inclination angle is between 20 and 25 degrees. However, if the angle is less than 15 degrees then it is considered to be pes planus [32]. On the other hand, if the angle is larger than 30 degrees then it is regarded as pes cavus [33].

Metatarsal declination angle [31] is calculated using weight-bearing lateral foot radiograph and considering the calcaneal inclination axis and the horizontal surface underneath the foot's sole. In the general population the metatarsal declination angle is expected to be about 21 degrees [33]. Any cases where the metatarsal declination angle is larger than 30 degrees is considered to be pes planus [33].

Meary's angle [31] is measured by drawing a line from the centers of longitudinal axes of the talus and the first metatarsal. If the resulting angle is greater than 4 degrees (convex downward) then the foot is considered to be pes planus [34]. On the other hand, if the calculated angle is less than -4 degrees (convex upward) then the foot is considered to be pes cavus [35].

Considering the anthropometric pes planus and cavus detection techniques mentioned above, the non-anthropometric measurements, even though less accurate, are much more easily accessible, less costly to conduct and less hazardous - i.e. require people to expose themselves to radiation. As a result of its ease of access, the non-anthropometric techniques can be conducted en masse and perform examinations in advance.

One of the most popular non-anthropometric methods used in the literature is the footprint approach, which involves sinking the foot into ink and then pressing it onto a graph paper. There are many different indexes that utilize the graph paper to determine pes planus and pes cavus - such as Staheli arch Index and Chippaux-Smirak index.

The Staheli index is calculated by dividing the width of a foot's central region to the width of the heel region. If the identified ratio (index) is larger than 0.8 then the foot is considered to be pes planus. On the other hand, if the calculated ratio is less than 0.4, then it is considered pes cavus [36].

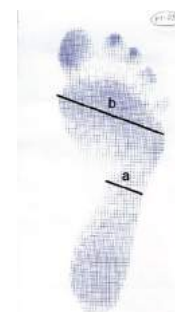


Figure 2. Chippaux-Smirak Index (a/b) [56]

Chippaux-Smirak Index (Figure 2) is calculated by considering the proportion between the narrowest and widest region of the midfoot. In the Chippaux-Smirak Index, if the proportion is more than 0.45, it is considered pes planus. If the proportion is less than 0.25, then it is considered pes cavus[36].

3.2. Machine Learning

Machine Learning (ML) is the ability of machines to learn from experiences, make decisions regarding similar situations in the future, and produce solutions to problems [37].

One of the subsets of ML is Supervised Learning (SL). SL requires external intervention or an internal mechanism to achieve the desired output. In SL, the algorithm is expected to correct results in a test set that demands the generalization of learning algorithms. Subsequently, algorithms outputs are expected to be accurate in new datasets.

Deep learning is one of the popular algorithms used for object detection, which is a subclass of machine learning and can be either supervised (such as classification) or unsupervised. Accordingly, deep learning uses many non-linear processing unit layers for feature extraction and conversion. Therefore, each successive layer takes the output from the previous layer as input and finally results with a classification. For example, a popular framework used in image processing is CNN (convolutional neural network), which consists of one or more convolutional layers, a subsampling layer and followed by one or more fully connected layers such as a standard multilayer neural network [38].

Besides classification, also establishing the location of the object in an image is another challenge in the domain of image processing. One of the first region-based architectures is R-CNN (Region-based convolutional neural network), which uses selective search to reduce the search region up to 2000 areas. Following suit with the previous algorithm, after the region reduction stage, a typical CNN is applied to extract features. Finally, the extracted features fed into a vector support machine to produce the results [39]. Following R-CNN, there are many algorithms that have been developed and proposed, which are further increasing the speed and accuracy of the R-CNN such as Fast R-CNN [40], Faster R-CNN [41], YOLO [42].

Another challenging problem in this domain is the Semantic segmentation. Semantic segmentation can be solved by tagging raw pixels in an image with the object category. For example, a Fully Convolutional Network (FCN) takes an image and produces a segmented image of the same size as input. Thus, distinct probability values are obtained for each pixel in the input image [43]. As a result, FCN [39] is very successful in the one-to-one mapping of each pixel without region. Accordingly, DeepLabv3 [44] is one of the state-of-the-art semantic segmentation algorithms. The DeepLabv3 architecture is built on top of the ResNet-101 [45] architecture by adding Atous Spatial Pyramid Pooling (ASPP). This module obtains feature maps with different details according to the void ratios of the filters by applying convolution filters with different void ratios on the ResNet output. These maps are then combined and passed through a filter [44]. Our work also makes use of the DeepLabv3 architecture to detect humans in images, which is discussed in section 4.

3.2. Image Processing

Digital image processing is one of the major areas in computer science. The latest research shows that DL has significant breakthroughs in the area with large data sets and increased resources in computational power [46, 47].

On the other hand, some areas lack large datasets to train DL algorithms. For these areas with dataset scarcity, conventional algorithms such as Sobel [48] can be beneficial for edge detection. Accordingly, Prewitt [49], Sobel [48], and Canny [50] are the most accepted and widely used edge detection algorithms in the literature. Sobel [48] algorithm calculates gradient on each point with respect to surrounding pixels, which is also called the kernel, on the image. In addition, in this algorithm, direction is also considered when calculating gradients.

On the other hand, Canny [50] is a more compact algorithm which uses a number of steps to detect edges. Firstly, Canny uses a Gaussian filter to eliminate noise in the image. Secondly, changes in the color are detected using gradients. Furthermore, this second step also maintains a threshold value to remove any

existing noise. Lastly, edges that are not strongly connected to any other edges are removed to filter out the most obvious ones.

Literature shows that Sobel is still improved [51] and used in many research projects [52, 53]. Since our project requires something bit more advance version of the Canny, Sobel algorithm is chosen and used different kernels and directions to detect the foot sole.

4. Analysis & Design

Accordingly, this section provides an overview of the analysis and design, which includes requirements capturing and modelling and furthermore, explains overall structure of the prototype.

4.1. Requirements Capturing

The system will provide the preliminary detection of potential pes planus and pes cavus patients. Therefore, the system should contain three essential structures: End-User Interface, Healthcare Interface, and last but not least, Backend services which will relay the data in between the two structures.

The end-user application should cater %95 of the mobile device users. In addition, the system should be able to detect pes planus and pes cavus with at least %70 accuracy, which as a result would reduce the workload of healthcare officials. Moreover, the end user application should produce the pre-diagnosis results provided by the system to the user within two minutes.

Furthermore, the prototype system should give an overall idea to the healthcare personnel and provide them with a provisional result. Hence, the final validation and confirmation of the result should be conducted by the healthcare personnel. However, in order to achieve this, there is a need for a web portal interface where the medical personnel could log in and keep track of their patients.

4.2. Modelling

Considering the above requirements, the system should be divided into two essential modules that feed each other to enable maximum efficiency - namely data and fine-tune modules. These modules should be designed in such a way that they would enable continuous improvement as can be seen in Figure 3.

Accordingly, the data module should focus on information collection and initial pre-diagnosis. Furthermore, this module should collect and process the essential and detailed information regarding the users, which consists of three parts: essential, health, and foot information.

The essential information should collect the name, surname, email address, birthdate. Also, in order to continue receiving the service, the users should be required to read and accept a consent form, which would explain to users how the collected data will be stored and processed.

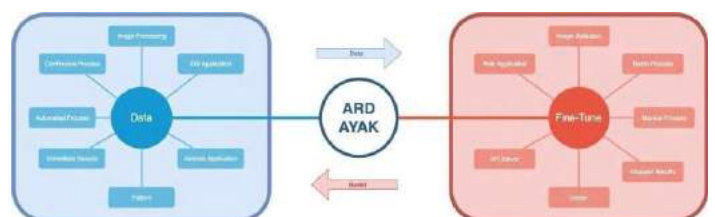


Figure 3. Data & Fine-Tuning Module

The health information collection part should focus on collecting the user's existing health issues related to pes planus and pes cavus. It should also collect any health issues that require the immediate attention of health workers. Therefore, if such a case arises it should directly ask the user to make an appointment with the physician for an emergency consultation. In addition, the prototype system should have a rule-based approach to detect health issues such as night pain level etc.

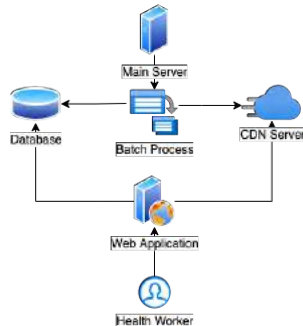


Figure 4. Detailed view of Fine-Tuning Module

Lastly, information about the feet should be collected. These would include information such as the degree of pain in physical activities, degree of pain at night, and most importantly pictures of the foot taken by the user him or herself. In addition, optionally users should be able to enter information about the deformity of the foot, if previously diagnosed.

The fine-tuning (Figure 4) module will be involved with background processes and healthcare professionals' interactions. Therefore, this module should contain two critical functions, namely system improvements and user interactions. In this module, initially healthcare professionals, who are also called system managers, would interact and review the user-provided data and conduct refinements on the system diagnoses. Later, the system would use the data doctored and tweaked by the system managers to actively improve the pre-diagnosis.

However, in order to achieve this, a web application would be needed for system managers to display and review the user provided content, such as foot images, previous diseases information and medical background. In the web application the system managers should also be able to calculate the different foot indexes - i.e. Staheli Arch Index - on images provided by the users. To calculate these indexes, system managers would only require to mark the critical points on a foot image. Consequently, the index calculation would be generated and the medical professional guided in their decision making and diagnoses.

The batch process would be the part of the fine-tuning module whose primary purpose is to improve the pre-diagnosis and analyze the healthcare professionals' diagnoses and critical points. Initially, this process will be designed to work manually, but it could be changed into an automated process for continuous learning after collecting enough data. Lastly, the batch is also responsible for the reporting results such as average successful pre-diagnoses. There would be multiple error calculations as part of the batch process in order to create the required analysis and results based on patient data. As a result, in these cycles, detailed errors would provide a benchmark to the batch process and recursively help improve its findings.

From a different perspective, bearing in mind that all collected data is confidential, storing, accessing and transmitting of the data should be handled with extreme vigilance and care. Accordingly, all data transmissions on the network will

be encrypted. Furthermore, all users accessing this data will be required to authenticate. Also, at the end of the study, all information collected from the users will be deleted.

5. Implementation

Some parts of this prototype contain well-defined requirements and design models, however, on the other hand, some other parts such as mobile client has more dynamic structure where its requirements are changed based on the feedback received from the pilots users.

The client application follows the prototyping development model since our primary focus is collecting users' materials (foot pictures, deformity types, etc.). For example, initially, the iOS operating system was planned to be supported, but considering how diverse the mobile market is also an Android prototype was also introduced. On the other hand, server APIs were less prone to changes. Therefore, a waterfall model is adopted for the implementation of the server-side application. Furthermore, the core pre-diagnoses part of the application, where pes planus and pes cavus detection were undertaken embraced more of an Agile development model.

Accordingly, the iOS client app (Figure 5) is compatible with iOS 11 and newer versions, making it available for 99,7% of the iOS device market. Since Swift language is selected for the development of the client, it results with an application that is easily extendable from features point of view and more integratable from compatibility and iOS ecosystem point of view.

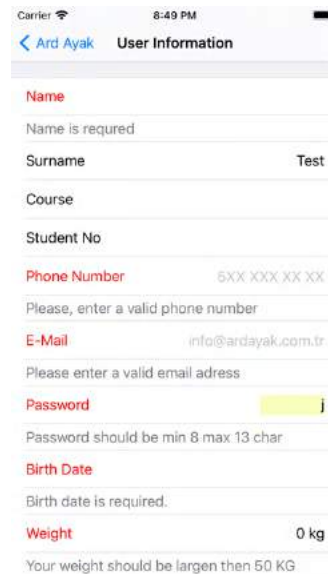


Figure 5. Mobile Application - iOS

On the other hand, the Android flavour of the client is compatible with Android devices API level 16 and newer version, which makes it available for 99,8% of the Android device market. In the development of the Android client the Flutter software development kit is used, which requires Dart programming language. As a result, makes the final software product compatible with iOS and Android operating systems. On the other hand, this dual-platform development using Flutter requires additional effort, hence, the Flutter application is only used in the implementation of the Android clients. However, in the future this could be changed so that a single development cycle could produce both iOS and Android clients.

Both end-user applications making use of the underlying operating systems UI follow the same workflow. Therefore, as a result, this enables users to complete their operations more comfortably and consistently with the UI they frequently use and they are familiar with. Furthermore, a user documentation is created to help improve the user experience and enhance how the users interact with the ArdAyak application.



Figure 6. Web Application - Login Page

Localization of an app is one of the important traits in the globalized world. The prototype client app supports multiple languages to increase international userbase in multiple regions. Therefore, ArdAyak client apps, for both operating systems, are designed so that the task of adding a new language would be as simple and straightforward as adding a new language definition file to the app's language filebase. Additionally, to further support multilingual nature of its design, the application makes use of the operating system-level localization tools to offer users features such as running the app by default in user's preferential language. In the initial release, end-user applications support both English and Turkish to serve a variety of users.

On the other hand, the web application is designed to work on all modern browsers such as Chrome and Safari. It has a simplistic graphical user interface which enables users to have an intuitive interaction with the system (Figure 6). Moreover, the web application also has validation and critical point assistance (Figure 7) to reduce user originating errors - such as virtual lines between the pins.

The overall system is designed to provide two different types of service; mobile application and web application, which will each cater respectively to end-users and healthcare personnel. The underlying purpose of implementing the system with two facets is to increase its scalability. Accordingly, there would be one sub-system dealing with multiple end-user interactions and data sent via the mobile up. On the other hand, another sub-system, which may reside on a totally different physical server, would be carrying out batch processes and serving the medical personnel. Following this analogy, the store could be run on an independent sub-system safe and secure from direct access from the Internet. By following this layered approach, the end-users would carry out their transaction faster, on the other hand, medical personnel would have access to a much more powerful and interactive system. Last but not least, the data storage would be safer since it is not directly accessible by neither the medical personnel nor the end-user systems.

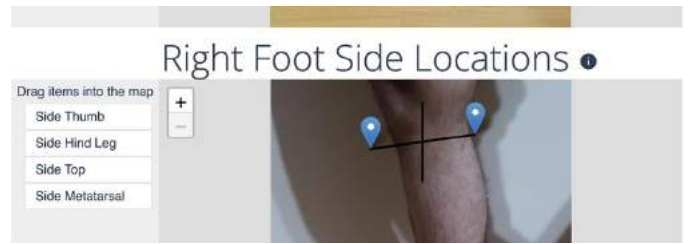


Figure 7. Critical Point Assistance

The end-user service uses microservice architecture to help rapid development. This enables us to deliver features more quickly to the production environment. Moreover, JWT(JSON Web Tokens - RFC7519) is used for authentication to prevent unauthorized access. Lastly, it has to be highlighted that all communication via HTTP protocol is encrypted with Secure Sockets Layer (SSL - RCF6101).

In the epicenter of this system is the batch process, which is where the main computational algorithms are executed. Accordingly, this facet conducts image processing, which entails the following steps: (1) region of interest; (2) image preparation and (3) image processing. After these steps are executed their findings are recorded on the relevant database.

In the first step, deep learning algorithms are applied to find the (1) regions of interest in the images. Considering that the existing datasets mostly contain full human body images and in this solution the objective is to detect body parts rather than full human body, multiple algorithms (such as YOLO, MIDAS, FCN_Resnet101, DeepLabV3) were tested to get the best result when they are applied to partial human body parts in an image - such as foot and parts of the leg. From all of the algorithms listed above the best performance was achieved by DeepLabV3.

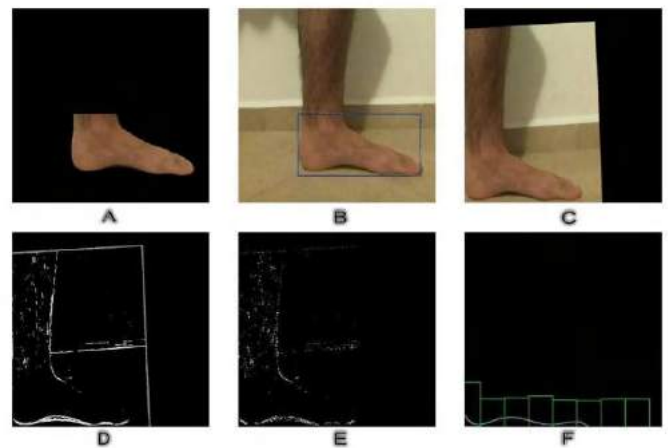


Figure 8. Image Processing

After the body parts in the images are detected using the algorithm mentioned above (see Figure 8A), a minimum area rectangle (Figure 8B) is calculated and used to surround the body part in the overall picture. Then, this area is further processed and a perspective transformation (Figure 8C) is applied to localize the critical points.

In order to detect the contour of the foot's sole, Sobel edge detection algorithm needs to be applied to the image. However, the Sobel algorithm requires grayscale images and therefore, colored images first need to be converted to HSL color space. At this stage HSL color space is selected because the HSL is less sensitive to light since its light channel is different. In our context, this is very important because end-users most of the time take

pictures in various lights and shades. For the very same reason, the S channel was selected for the conversion, which is the best performer in overall color space. By performing all of the above tasks (2) the image preparation step is finalized.

At this stage, as the image is converted into HSL, the S channel values are fed into the Sobel edge detection algorithm. During the edge detection process, multiple Sobel conversions are applied and merged into one edge image. For example, the order of the derivative in 'x' and 'y' direction is applied in kernel size of 9 to images in Sobel conversions. In addition, threshold values are also used to remove unnecessary edges in images which can be seen in Figure 8E.

Lastly, foot line detection is applied. Predefined window size all non-zero points extracted. After point extraction, the fifth-order (Quintic) polynomial is fitted to points which can be seen in Figure 8F.

After the foot sole is extracted, the Arc index is calculated. This calculation is based on the ratio of critical points in the foot, which does not require reversal of the perspective transformation. Consequently, the points location (top, bottom, and metatarsal) calculated using foot solo equation.

6. Results and Evaluation

This section describes the tests and evaluations conducted on the prototype system that has been described in the previous parts of the paper.

Considering the core functionality of the prototype system, the most important aspect is to evaluate whether the system can successfully classify foot deformities or non-deformities. As part of the evaluation, the collected foot pictures were shared with the physician and he was asked to calculate the Arch Index for each one of them. Then received calculations were compared with the automated algorithm's findings.

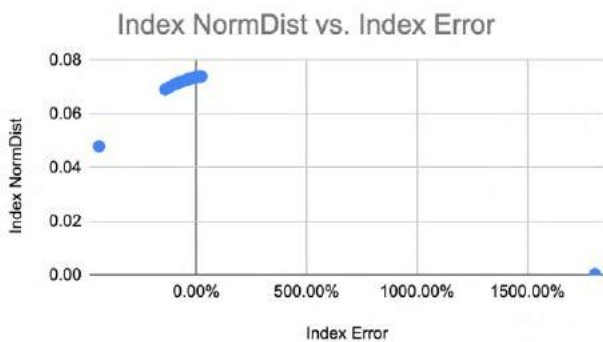


Figure 9. Index Errors Normal Distribution

Accordingly, the prototype was distributed to 34 participants - 22 (64,71%) males and 12 (35,29%) females - with an average age of 24,06 and they were asked to take pictures of their feet using the prototype app. All data uploaded by the participants then was stored on an online database.

Since none of the data collection was conducted under supervision, some image data uploaded to the server were unusable and not fit for processing. Therefore, some of the images were removed from the database. As a result, 61 foot pictures, out of 68 foot images (2 feet per participant), were cleared for processing.

Initially, as mentioned above, the 61 foot pictures were shared with the physician and their Arch Index values were manually calculated. The findings of the physician showed that 93% of the foot pictures were classified as pes planus and the remaining 7% foot pictures were classified as normal feet.

After obtaining the manually calculated Arch Index values from the physician, the same foot images were fed to the prototype batch process. The foot type classification findings of the automated algorithm and the physician's were 91.80% match. Since the participant pool was generated using the general public, with no specific foot disorders, the results were not that diverse.

Considering the high percentage of (93%) of images being classified as pes planus, it was questioned whether there was a bias in the prototype algorithm towards pes planus. Therefore, a further analysis is conducted on the images where physicians selected index points and automatically identified index points were compared and their deviations calculated. Accordingly, the deviation comparison showed that in some cases where the image corrupted the error rates are substantially high but this most of the time is related to human error. The comparison showed that the standard deviation index error is 5.377. In some cases arch index error is as low as 0.02% which is a proof that the newly designed algorithm performed as required.

7. Conclusion

This study aims to implement a mobile pre-diagnostic tool that would help physicians in classifying and identifying potential patients with foot deformities - namely pes cavus, pes planus - remotely. Accordingly, this solution makes use of the client/server model to create the prototype, where the client side is used to collect the raw data and foot pictures and the server side to process and store the collected data. On the server side, the collected data is processed using machine learning, image processing, and deep neural networks.

The implemented prototype then is tested with 34 participants and the overall evaluation showed that the pre-diagnoses prototype, acknowledging its shortcomings with non-clear images, has great potential and can identify pes cavus and pes planus 91.80% success when compared to a physician's findings.

However, the prototype, as acknowledged above, still has its shortcomings and space for improvement in pre-processing and clarification of pictures with non-ideal background or lighting.

References

- Michaudet, C., Edenfield, K. M., Nicolette, G. W., & Carek, P. J. (2018). Foot and Ankle Conditions: Pes Planus. *FP essentials*, 465, 18-23.
- Franco, A. H. (1987). Pes cavus and pes planus: analyses and treatment. *Physical therapy*, 67(5), 688-694.
- Kelly, L. A., Cresswell, A. G., & Farris, D. J. (2018). The energetic behaviour of the human foot across a range of running speeds. *Scientific reports*, 8(1), 1-6.
- Aenumulapalli, A., Kulkarni, M. M., & Gandotra, A. R. (2017). Prevalence of flexible flat foot in adults: a cross-sectional study. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 11(6), AC17.
- Mickle, K. J., Steele, J. R., & Munro, B. J. (2006). The feet of overweight and obese young children: are they flat or fat?. *Obesity*, 14(11), 1949-1953.

- Woźniacka, R., Bac, A., Matusik, S., Szczygieł, E., & Ciszek, E. (2013). Body weight and the medial longitudinal foot arch: high-arched foot, a hidden problem?. *European journal of pediatrics*, 172(5), 683-691.
- Kohls-Gatzoulis, J., Woods, B., Angel, J. C., & Singh, D. (2009). The prevalence of symptomatic posterior tibialis tendon dysfunction in women over the age of 40 in England. *Foot and Ankle Surgery*, 15(2), 75-81.
- DA, B., & DR, S. (1963). " IDIOPATHIC" PES CAVUS: AN INVESTIGATION INTO ITS AETIOLOGY. *British Medical Journal*, 2(5358), 659-661.
- Gün, K., Saridoğan, M., & Uysal, Ö. (2012). Pes Planus Tanısında Ayak İzi ve Radyografik Ölçüm Yöntemlerinin Korelasyonu. *Turkish Journal of Physical Medicine & Rehabilitation/Turkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, 58(4).
- Yalçın, N., Esen, E., Kanatlı, U., & Yetkin, H. (2010). Medial longitudinal arkin değerlendirilmesi: dinamik plantar basınc ölçüm sistemi ile radyografik yöntemlerin karşılaştırılması. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 44(3), 241-5.
- Smith, D. G., Barnes, B. C., Sands, A. K., Boyko, E. J., & Ahroni, J. H. (1997). Prevalence of radiographic foot abnormalities in patients with diabetes. *Foot & ankle international*, 18(6), 342-346.
- Winfeld, M. J., & Winfeld, B. E. (2019). Management of pediatric foot deformities: an imaging review. *Pediatric radiology*, 49(12), 1678-1690.
- Chen, K. C., Yeh, C. J., Kuo, J. F., Hsieh, C. L., Yang, S. F., & Wang, C. H. (2011). Footprint analysis of flatfoot in preschool-aged children. *European journal of pediatrics*, 170(5), 611-617.
- Pauk, J., Ihnatouski, M., & Najafi, B. (2014). Assessing plantar pressure distribution in children with flatfoot arch: application of the Clarke angle. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 104(6), 622-632.
- Kanatli, U., Yetkin, H., & Cila, E. (2001). Footprint and radiographic analysis of the feet. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 21(2), 225-228.
- Yalçın, N., Esen, E., Kanatli, U., & Yetkin, H. (2010). Evaluation of the medial longitudinal arch: a comparison between the dynamic plantar pressure measurement system and radiographic analysis. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 44(3), 241-5.
- Menz, H. B., & Munteanu, S. E. (2005). Validity of 3 clinical techniques for the measurement of static foot posture in older people. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 35(8), 479-486.
- Cavanagh, P. R., & Rodgers, M. M. (1987). The arch index: a useful measure from footprints. *Journal of biomechanics*, 20(5), 547-551.
- Igbigbi, P. S., & Msamati, B. C. (2002). The footprint ratio as a predictor of pes planus: a study of indigenous Malawians. *The Journal of foot and ankle surgery*, 41(6), 394-397.
- Didia, B. C., Omu, E. T., & Obuoforibo, A. A. (1987). The use of footprint contact index II for classification of flat feet in a Nigerian population. *Foot & ankle*, 7(5), 285-289.
- Gun, K., Saridogan, M., & Uysal, O. (2012). The correlation between footprint and radiographic measurements in flatfoot.
- Buldt, A. K., Levinger, P., Murley, G. S., Menz, H. B., Nester, C. J., & Landorf, K. B. (2015). Foot posture is associated with kinematics of the foot during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait & posture*, 42(1), 42-48.
- Sennotech Co. Ltd. Gait Analysis Product. Retrieved August 16, 2021, from <https://www.sennotech.com/en/index.php>
- alFOOTs Co. Ltd. 4ch PGO Gait Analysis Product. Retrieved August 20, 2021, from https://alfoots.com:5000/en/sub/02_sub/02_sub02.php
- Vicon Motion Systems Ltd. Optical Motion Capture Cameras. Retrieved August 24, 2021, from <https://www.vicon.com/hardware/cameras/>
- novel GmbH, emed Pressure Detection Device. Retrieved August 15, 2021, from <https://www.novel.de/products/emed/>
- medilogic GmbH, emed Pressure Detection Device. Retrieved August 17, 2021, from <https://medilogic.com/en/pressure-measuring-platform-nx/>
- Buldt, A. K., Forghany, S., Landorf, K. B., Levinger, P., Murley, G. S., & Menz, H. B. (2018). Foot posture is associated with plantar pressure during gait: A comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait & posture*, 62, 235-240.
- Keukenkamp, R., Busch-Westbroek, T. E., Barn, R., Woodburn, J., & Bus, S. A. (2021). Foot ulcer recurrence, plantar pressure and footwear adherence in people with diabetes and Charcot midfoot deformity: A cohort analysis. *Diabetic Medicine*, 38(4), e14438.
- Bosch, K., Gerß, J., & Rosenbaum, D. (2010). Development of healthy children's feet—nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. *Gait & posture*, 32(4), 564-571.
- DENİZ, G., KAVAKLI, A., ÖGETÜRK, M., ÖZTÜRK, D., TATAR, N., & PERİLİOĞLU, A. Z. (2014). Çocuklardaki Fleksibl Pes Planusun Yüklü ve Yüksüz Radyografilerle Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi*, 28(3), 129-132.
- Flores, D. V., Mejía Gómez, C., Fernández Hernando, M., Davis, M. A., & Pathria, M. N. (2019). Adult acquired flatfoot deformity: anatomy, biomechanics, staging, and imaging findings. *Radiographics*, 39(5), 1437-1460.
- Yates, B., & Merriman, L. M. (Eds.). (2009). *Merriman's assessment of the lower limb*. Elsevier Health Sciences.
- Vanderwilde, R. U. S. S. E. L. L., Staheli, L. T., Chew, D. E., & Malagon, V. A. L. E. N. T. I. N. (1988). Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 70(3), 407-415.
- Banks, A. S. (2001). *McGlamry's comprehensive textbook of foot and ankle surgery* (Vol. 1). Lippincott Williams & Wilkins.
- Almaawi, A., Alotaibi, N., Alsubaie, M., Altwajri, N., Alduraibi, K., Awwad, W., & Algarni, A. (2019). Flatfoot Prevalence in Riyadh City Saudi Arabia And Its Association with Obesity, Using Three Footprint Indices; Clarkâ€™s Angle, Chippaux-Smirak Index, and Staheli Index. *Orthopedics and Rheumatology Open Access Journals*, 15(2), 52-58.
- Michie, D., Spiegelhalter, D. J., & Taylor, C. C. (1994). *Machine learning, neural and statistical classification*.
- Ciregan, D., Meier, U., & Schmidhuber, J. (2012, June). Multi-column deep neural networks for image classification. In *2012 IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3642-3649). IEEE.
- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 580-587).
- Girshick, R. (2015). Fast r-cnn. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 1440-1448).

- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in neural information processing systems*, 28, 91-99.
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767.
- Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3431-3440).
- Chen, L. C., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2017). Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation. arXiv preprint arXiv:1706.05587.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- Razzak, M. I., Naz, S., & Zaib, A. (2018). Deep learning for medical image processing: Overview, challenges and the future. *Classification in BioApps*, 323-350.
- Hemanth, D. J., & Estrela, V. V. (Eds.). (2017). *Deep learning for image processing applications* (Vol. 31). IOS Press.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (1992). *Digital Image Processing* Addison-Wesley. Reading, Ma.
- Prewitt, J. M. (1970). Object enhancement and extraction. *Picture processing and Psychopictorics*, 10(1), 15-19.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6), 679-698.
- Vinista, P., & Joe, M. M. (2019). A Novel Modified Sobel Algorithm for Better Edge Detection of Various Images. *International journal of emerging technologies in engineering research (IJETER)*, 7(3), 26-31.
- Yusoff, N. M., Halim, I. S. A., & Abdullah, N. E. (2018, August). Real-time hevea leaves diseases identification using Sobel edge algorithm on FPGA: A preliminary study. In *2018 9th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)* (pp. 168-171). IEEE.
- Rezai-Rad, G., & Aghababaie, M. (2006, April). Comparison of SUSAN and sobel edge detection in MRI images for feature extraction. In *2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies* (Vol. 1, pp. 1103-1107). IEEE.
- Lee, M. S., Vanore, J. V., Thomas, J. L., Catanzariti, A. R., Kogler, G., Kravitz, S. R., ... & Gassen, S. C. (2005). Diagnosis and treatment of adult flatfoot. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 44(2), 78-113.
- Cheung, Z. B., Myerson, M. S., Tracey, J., & Vulcano, E. (2018). Weightbearing CT scan assessment of foot alignment in patients with hallux rigidus. *Foot & ankle international*, 39(1), 67-74.
- Vaseenon, T., Wattanarojanaporn, T., Intharasompan, P., Theeraamphon, N., Auephanviriyakul, S., & Phisitkul, P. (2015). Foot and ankle problems in Thai monks. *J Med Assoc Thai*, 98(1), 71-6.



Importance and Microbial Production of Gamma (Y)-Aminobutyric Acid (GABA) in Food Systems

Nilgün Özdemir*

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Samsun, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4517-9214), nilgun.ozdemir@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015283)

ATIF/REFERENCE: Özdemir, N. (2021). Importance and Microbial Production of Gamma (Y)-Aminobutyric Acid (GABA) in Food Systems. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1330-1335.

Abstract

Gamma-aminobutyric acid (GABA) is a non-protein amino acid that is widely present in organisms. In particular, lactic acid bacteria (LAB) stand out in this regard. The biosynthesis of GABA in microorganisms is mainly regulated by pH, which usually has the most pronounced effect on a fermentation process. Also, GABA production, affects media composition, fermentation time, and fermentation temperature. GABA has important positive functions on human health. In particular, it is known that GABA is effective in the development of neural diseases such as schizophrenia, alzheimer's disease, parkinson's disease, hormone regulation, and antihypertensive activity. In the present study, concepts related to GABA such as GABA-producing microorganisms, biosynthesis mechanism of GABA, and factors affecting GABA synthesis, and different approaches to increase GABA production and GABA content, especially in the food industry, will be emphasized.

Keywords: Gamma (Y)-aminobutyric acid, Bioactive Compound, Microbial Metabolites, Biosynthesis, Functional Microorganisms

Gama (Y)-Aminobütirik Asitin (GABA) Gıda Sistemlerindeki Önemi ve Mikrobiyal Üretimi

Öz

Gama-aminobütirik asit (GABA), organizmalarda yaygın olarak bulunan ve protein olmayan bir amino asittir. Özellikle laktik asit bakterileri (LAB) GABA üreticisi olarak öne çıkmaktadır. GABA'nın mikroorganizmalarda biyosentezinde en etkili faktör pH değeridir. Ayrıca, GABA üretimi ortam bileşimi fermantasyon süresi ve fermantasyon sıcaklığı etkiler. GABA'nın insan sağlığı üzerinde önemli pozitif etkileri vardır. Özellikle, GABA'nın şizofreni, alzheimer hastalığı, parkinson hastalığı, hormon regülasyonu ve antihipertansif aktivite gibi nöral hastalıkların gelişiminde etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, GABA üreten mikroorganizmalar, GABA'nın biyosentez mekanizması ve GABA sentezini etkileyen faktörler gibi GABA ile ilgili kavramlar, özellikle gıda endüstrisinde GABA üretimi ve GABA içeriğinin artırılmasına yönelik farklı yaklaşımlar üzerinde durulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Gama (Y)-aminobütirik asit, Biyoaktif Bileşik, Mikrobiyal Metabolitler, Biyosentez, Fonksiyonel Mikroorganizma

* Corresponding Author: nilgun.ozdemir@omu.edu.tr

1. Introduction

GABA (γ -aminobutyric acid) is a non-protein amino acid. It is produced from L-glutamic acid by glutamate decarboxylase enzyme (GAD) which is dependent on the cofactor pyridoxal-5'-phosphate or vitamin B6 (Cui et al., 2020). It is known to widely present in microorganisms, plants, and animals. Although GABA has been widely studied in medical and pharmaceutical fields, studies on its effect in the field of food have been very limited.

GABA is known to have multiple many functional features, such as neurotransmission, induction of hypotension, and diuretic and tranquiliser effects (Ribeiro et al., 2018). Besides, it has been beneficial in alcoholism treatment, depression and stimulation of immune cells (Diana et al., 2014).

The GABA content of most of the available GABA-containing foods is not at a sufficient level for people to benefit from the functional effects of GABA. Therefore, the use of this

Table 1. Some GABA-producing microorganisms and their GABA production amounts (Cui et al., 2020)

Lactic acid bacteria		
Microorganism	GABA (g/L)	References
<i>Levilactobacillus brevis</i> NCL912	205.80	(Q. Wang et al., 2018)
<i>Lactobacillus buchneri</i> WPZ001	129.00	(Zhuang et al., 2018)
<i>Enterococcus avium</i> G-15	115.70	(Tamura et al., 2010)
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> CGMCC 1.2437 ^T	74.37	(Zhao et al., 2015)
<i>Latilactobacillus sakei</i> B2-16	68.05	(Seo et al., 2012)
<i>Levilactobacillus brevis</i> RK03	62.52	(Wu et al., 2018)
<i>Levilactobacillus brevis</i> TCCC13007	61.00	(Zhang et al., 2012)
<i>Levilactobacillus brevis</i> K203	44.40	(Binh et al., 2014)
<i>Enterococcus faecium</i> GZ2	41.87	(Wang et al., 2016)
<i>Levilactobacillus brevis</i> NCL912	35.66	(Li et al., 2010)
<i>Levilactobacillus brevis</i> DPC6108	32.32	(Barrett et al., 2012)
<i>Lactobacillus paracasei</i> NFRI 7415	31.14	(Komatsuzaki et al., 2005)
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> YS9	19.28	(Lin, 2013)
<i>Streptococcus thermophilus</i> fmb5	9.66	(Chen et al., 2018)
<i>Pediococcus pentosaceus</i> HN8	9.06	(Ratanaburee et al., 2013)
<i>Weissella hellenica</i> SB 105	7.69	(Kim et al., 2007)
<i>Leuconostoc citreum</i> SC-10	0.50	(Demirbaş et al., 2017)
The other microorganism		
Microorganism	GABA (g/L)	References
<i>Monascus purpureus</i>	7.45	(J. J. Wang et al., 2003)
<i>Monascus sanguineus</i>	0.02	(Dikshit & Tallapragada, 2015)
<i>Pichia anomala</i> MR-1	1.20	(Masuda et al., 2008)
<i>Rhizopus microsporus</i> var. <i>oligosporus</i> IFO 32002	17.40	(Aoki et al., 2003)
<i>Rhizopus microsporus</i> var. <i>oligosporus</i> IFO 32003	15.00	(Aoki et al., 2003)

bioactive ingredient by the human body can be achieved, either as a nutraceutical product or through a new or modified functional food. The best, fastest, least costly way to do this is microbial biosynthesis. It is known that many microorganisms are able to synthesize GABA until now (Kook & Cho, 2013; Li & Cao, 2010).

In the present study, concepts related to GABA such as GABA-producing microorganisms, biosynthesis mechanism of GABA, and factors affecting GABA synthesis, and different approaches to increase GABA production and GABA content, especially in the food industry, will be emphasized.

2. Gaba-Producing Microorganisms

Microorganisms are an important source of GABA. It is known that many types of microorganisms have the ability to synthesize GABA, including yeast, fungi, and bacteria (Cui et al., 2020).

Among bacteria, there are several studies on the GABA-producing ability of especially lactic acid bacteria (LAB) (Tamura et al., 2010; Q. Wang et al., 2018). Since LAB has GRAS (generally regarded as safe) status, its use in foods as a GABA-

producer or source of GABA is also prominent. Besides, GABA production capacity varies between different types of LAB. As far as is known, mainly, GABA producing LAB species can be specified as *Levilactobacillus brevis*, *Lactobacillus buchneri*, and *Enterococcus avium* according to high efficiency production (Park & Oh, 2007; Tamura et al., 2010). Other LAB species (*Pediococcus*, *Weissella*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pseudomesenteroides*, *Lactocaseibacillus*, and *Lactiplantibacillus* etc.) and its production quantities are given in Table 1. According to the studies identified in the literature, *Lactobacillus brevis* NCL912 isolated from Paocai, a type of Chinese pickle, is the strain with the highest yield with 205 g/L GABA content when compared to other samples.

As for other microorganism types, their number is more limited (Table 1). For example, it was determined that *Monascus purpureus* and *Monascus sanguineus* species of the non-pathogenic fungus *Monascus* spp. produced 7.453 and 0.015 g/L GABA, respectively, albeit in small quantities (Dikshit & Tallapragada, 2015; J. J. Wang et al., 2003). Similarly, a yeast isolate that belong *Pichia anomala*, a marine yeast, were determined to produce high amount of GABA (1.2 g/L) according to other yeast (Masuda et al., 2008). On the other hand, it was

determined that two isolates that belong *Rhizopus microspores* var. *oligosporus*, a fungus, produced 17.40 and 15.00 g/L GABA (Aoki et al., 2003). Despite all this information, the leading microorganisms in GABA production is LAB.

3. Biosynthesis of GABA

The biosynthesis of GABA by microorganisms is carried out by the glutamic acid decarboxylase (GAD) system. This system consists of GAD enzyme and glutamate/GABA antiporter GadC. This is shown in Figure 1.

Fistly, L-glutamat is transported a cell through the antiporter GadC. Subsequently, the decarboxylation of L-glutamate to GABA catalyzed by GAD. This leads to the formation of GABA and release of CO₂ as by product. Finally, GABA is exported to the extracellular matrix by antiporter GadC. In this reaction, pyridoxal-5'-phosphate (PLP) (Vit B6) takes part as a cofactor.

GAD is an intracellular enzyme (Huang et al., 2007). The GAD enzyme is encoded by gad genes. Generally, LAB species have gadB gene (gadB2), but most *Levilactobacillus brevis* strains contain two distinct gad genes (gadA and gadB). However, *Enterococcus avium* 352 has three

gad genes (gadB1, gadB2 and gadB3) (Lyu et al., 2018; Yu et al., 2019). Besides, antiporter GadC transports GABA/Glu generally under acidic conditions (Kook & Cho, 2013). Furthermore GADs from LAB are specific for L-glutamic acid.

Interestingly, although the gad gene is found, some LAB strains cannot produce GABA. In one study (Nomura et al., 2000), this situation was examined. It was determined that a LAB strain (*Lactococcus cremoris*) that had the Gad gene, but did not produce GABA had a mutation in the Gad gene. This mutation was determined to be a one-base deletion of adenine and a one-base insertion of thymine were detected. This indicated that the application of polymerase chain reaction (PCR)-based methods for the detection of GABA-producing LAB is quite difficult.

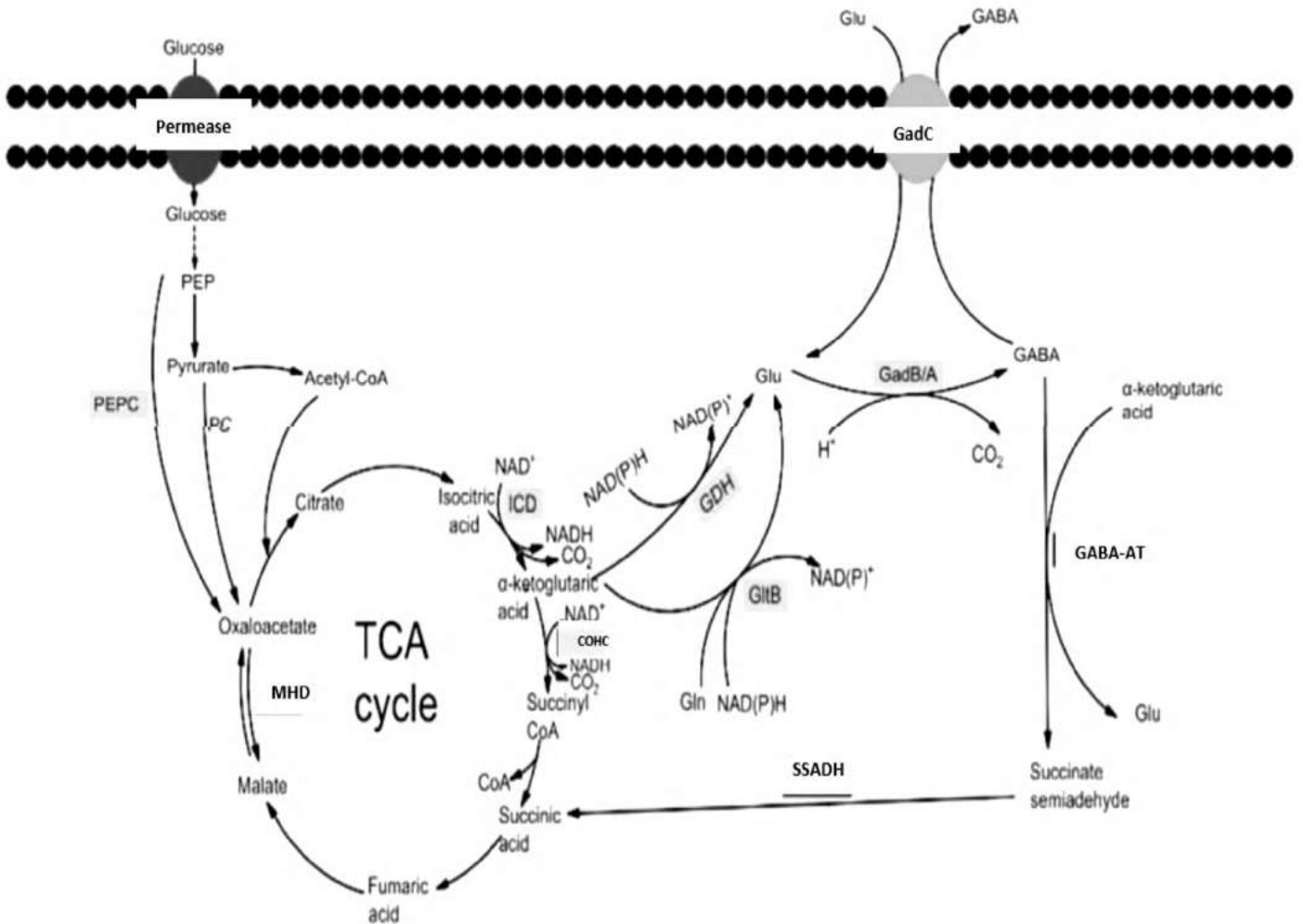


Figure 1 The biosynthetic pathway of GABA by microbes (Kook & Cho, 2013; Cui et al., 2020)

4. Factors Affecting GABA Synthesis

Different fermentation factors affect the rate of GABA production by microorganisms. The pH value of media,

temperature of media, cultivation time and media additives are among the prominent factors.

4.1. pH value

Since the biochemical properties of GAD differ between different microorganisms, the effective pH value for maximum GABA production depends on the species (Dhakal et al., 2012). Generally, in studies (Komatsuzaki et al., 2005; Siragusa et al., 2007; Choi et al., 2012) optimum pH values were determined as acidic values and values below pH 6.5.

Furthermore, the production of GABA is not only dependent on activating the activities of GAD but also on inhibiting the activities of GABA-decomposing enzymes. GABA can be converted to the succinic semi-aldehyde and subsequently to succinate. The enzymes played role in these reactions; have optimum pH value around 8-8.5 (Dhakal et al., 2012). Therefore, a value that can inhibit these enzymes in the fermentation medium and is also suitable for GAD activity is important.

4.2. Temperatures

The incubation temperature is important for GABA production. In general, a high GABA yield was obtained in the fermentation temperature range from 25°C to 40°C. For example, *L. plantarum* DSM19463 synthesized the highest amount of GABA at temperatures between 30°C and 35°C (Di Cagno et al., 2010). The optimum temperatures for some *L. brevis* strains were found to be as 30°C, 37°C, and 40°C, respectively (Huang et al., 2007; Ueno, 2000).

4.3. Fermentation Time

The time factor plays an important role in the fermentation. In a study (Di Cagno et al., 2010), *L. plantarum* DSM19463 required 72 h of fermentation time to reach the highest production of GABA, respectively. In another study (Kim et al., 2009), *L. brevis* GABA-100 reached the highest level of GABA at the 12 th day. On the other hand, in a study in which a co-factor was added to the medium (Yang et al., 2008), it was determined that the higher amount of GABA was produced at 48 h.

4.4. Effect of Media Composition

Nutrient composition affect the GABA production by fermentation. For this, PLP (vit B6) as the coenzymes of GAD are the major factors (Komatsuzaki et al., 2005).

On the other hand, the concentrations and diversity of substrates are important for GABA yield. In particular, a nitrogen source is needed. Because l-glutamate is needed for GABA production. This amino acid must either be added to the medium from the outside, or the nutrients necessary for microorganisms capable of synthesizing this amino acid must be given to the medium.

L-glutamate is formed by the conversion of α -ketoglutarate by l-glutamate dehydrogenase. Alpha-ketoglutarate is synthesized from glucose via the glycolysis pathway and part of the tricarboxylic acid (TCA) cycle. Furthermore, it was known that the addition of sulfate ions increased the GAD activity (Dhakal et al., 2012).

5. Effect of GABA on Health

GABA as an effective compound with bio-functions can be used as a drug with significant pharmacological effects. Besides, *e-ISSN: 2148-2683*

it is effective as a component of health food as well (Diez-Gutiérrez et al., 2020).

GABA is an inhibitory neuro-transmitter. Neurotransmitters are small chemical conductors that enable the flow of information in nerve cells. Because of this feature, it is known that GABA can modulate mood (e.g. relaxation), sleep disorders, and temporal and spatial memory. Also, several studies have demonstrated the importance of GABA in the development of neural diseases such as schizophrenia, Alzheimer's disease, Parkinson's disease (Boonstra et al., 2015; Porges et al., 2017).

On the other hand, GABA has cardiovascular effect. Because GABA has the effect of reducing hypertension (Abd El-Fattah et al., 2018). Another effect of GABA is hormone regulator. It regulates progesterone, thyroid, and insulin hormones (Adeghate & Ponery, 2001; Wiens & Trudeau, 2006).

Furthermore, GABA has serum cholesterol-lowering effect (Ngo & Vo, 2019), control effect in asthma (Arnold et al., 2016). Some studies have shown that it also has an effect on cancer cells such as Delaying and/or inhibiting the proliferation of cancer cells and potent tumour suppression (Brzozowska et al., 2017; Wang et al., 2016).

6. Conclusion and Future Prospects

The GABA-producing ability could be of interest for the food industry. GABA has been evidenced as a powerful bioactive compound with numerous health-beneficial effects. Thus, the functional foods produced from GABA are believed to be able to prevent and/or treat different diseases, especially hypertension, diabetes, and neurological disorders. Whereby, the researches into large-scale production, biotechnological techniques, and high Gaba-producing strains will be increased in food industry.

Acknowledge

The authors declare no conflict of interest. This research was not funded by any organization. Also, abstract of this study was presented at congress "1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021 (Konya / Turkey)."

References

- Abd El-Fattah, A., Sakr, S., El-Dieb, S., & Elkashef, H. (2018). Developing functional yogurt rich in bioactive peptides and gamma-aminobutyric acid related to cardiovascular health. *LWT*, 98, 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.022>
- Adeghate, E., & Ponery, A. S. (2001). *GABA in the endocrine pancreas cellular localization and the function i normal and diabetic rats*. <https://doi.org/10.1054/tice.2001.0217>
- Aoki, H., Uda, I., Tagami, K., Furuya, Y., Endo, Y., & Fujimoto, K. (2003). The Production of a New Tempeh-like Fermented Soybean Containing a High Level of g-Aminobutyric Acid by Anaerobic Incubation with *Rhizopus*. In *Biosci. Biotechnol. Biochem* (Vol. 67, Issue 5).
- Arnold, L. A., Forkuo, G. S., Nieman, A. N., Yu, O. B., Guthrie, M. L., Yuan, N. Y., Kodali, R., Jahan, R., Emala, C. W., Cook, J. M., Stafford, D. C., Grayson, M. H., Kamekura, R., Kawata, K., Jitsukawa, S., Nagaya, T., Yamashita, K., Ito, F., Takano, K., ... Wray, B. B. (2016). L13 A New Pharmacological Approach for Asthma through Tissue-Specific Modulation of the GABA(A) Receptor L15 Case Report of a Previously

- Unreported Type of DOCK8 Deficiency Abstracts AB393. In *J Allergy Clin Immunol* (Vol. 137, Issue 2).
- Barrett, E., Ross, R. P., O'Toole, P. W., Fitzgerald, G. F., & Stanton, C. (2012). γ -Aminobutyric acid production by culturable bacteria from the human intestine. *Journal of Applied Microbiology*, *113*(2), 411–417. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05344.x>
- Binh, T. T. T., Ju, W. T., Jung, W. J., & Park, R. D. (2014). Optimization of γ -amino butyric acid production in a newly isolated *Lactobacillus brevis*. *Biotechnology Letters*, *36*(1), 93–98. <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1326-z>
- Boonstra, E., de Kleijn, R., Colzato, L. S., Alkemade, A., Forstmann, B. U., & Nieuwenhuis, S. (2015). Neurotransmitters as food supplements: The effects of GABA on brain and behavior. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 6, Issue OCT). Frontiers Research Foundation. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01520>
- Brzozowska, A., Burdan, F., Duma, D., Solski, J., & Mazurkiewicz, M. (2017). γ -amino butyric acid (GABA) level as an overall survival risk factor in breast cancer. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *24*(3), 435–439. <https://doi.org/10.26444/aaem/75891>
- Chen, L., Alcazar, J., Yang, T., Lu, Z., & Lu, Y. (2018). Optimized cultural conditions of functional yogurt for γ -aminobutyric acid augmentation using response surface methodology. *Journal of Dairy Science*, *101*(12), 10685–10693. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15391>
- Cui, Y., Miao, K., Niyaphorn, S., & Qu, X. (2020). Production of gamma-aminobutyric acid from lactic acid bacteria: A systematic review. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijms21030995>
- Demirbaş, F., İspirli, H., Kurnaz, A. A., Yilmaz, M. T., & Dertli, E. (2017). Antimicrobial and functional properties of lactic acid bacteria isolated from sourdoughs. *LWT - Food Science and Technology*, *79*, 361–366. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.067>
- Dhakar, R., Bajpai, V. K., & Baek, K.-H. (2012). PRODUCTION OF GABA (γ -AMINOBUTYRIC ACID) BY MICROORGANISMS: A REVIEW. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1230–1241.
- Di Cagno, R., Mazzacane, F., Rizzello, C. G., De Angelis, M., Giuliani, G., Meloni, M., De Servi, B., & Gobbetti, M. (2010). Synthesis of γ -aminobutyric acid (GABA) by *Lactobacillus plantarum* DSM19463: Functional grape must beverage and dermatological applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *86*(2), 731–741. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2370-4>
- Diana, M., Tres, A., Quilez, J., Llombart, M., & Rafecas, M. (2014). Spanish cheese screening and selection of lactic acid bacteria with high gamma-aminobutyric acid production. *LWT - Food Science and Technology*, *56*(2), 351–355. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2013.11.027>
- Diez-Gutiérrez, L., San Vicente, L., Luis, L. J., Villarán, M. del C., & Chávarri, M. (2020). Gamma-aminobutyric acid and probiotics: Multiple health benefits and their future in the global functional food and nutraceuticals market. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 64). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103669>
- Dikshit, R., & Tallapragada, P. (2015). Screening and optimization of γ -aminobutyric acid production from *Monascus sanguineus* under solid-state fermentation. *Frontiers in Life Science*, *8*(2), 172–181. <https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1028654>
- Huang, J., Mei, L. H., Wu, H., & Lin, D. Q. (2007). Biosynthesis of γ -aminobutyric acid (GABA) using immobilized whole cells of *Lactobacillus brevis*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *23*(6), 865–871. <https://doi.org/10.1007/s11274-006-9311-5>
- Kim, J. Y., Lee, M. Y., Ji, G. E., Lee, Y. S., & Hwang, K. T. (2009). Production of γ -aminobutyric acid in black raspberry juice during fermentation by *Lactobacillus brevis* GABA100. *International Journal of Food Microbiology*, *130*(1), 12–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.028>
- Komatsuzaki, N., Shima, J., Kawamoto, S., Momose, H., & Kimura, T. (2005). Production of γ -aminobutyric acid (GABA) by *Lactobacillus paracasei* isolated from traditional fermented foods. *Food Microbiology*, *22*(6), 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.01.002>
- Kook, M. C., & Cho, S. C. (2013). Production of GABA (gamma amino butyric acid) by lactic acid bacteria. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *33*(3), 377–389. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2013.33.3.377>
- Li, H., & Cao, Y. (2010). Lactic acid bacterial cell factories for gamma-aminobutyric acid. In *Amino Acids* (Vol. 39, Issue 5, pp. 1107–1116). <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0582-7>
- Li, H., Qiu, T., Huang, G., & Cao, Y. (2010). Production of gamma-aminobutyric acid by *Lactobacillus brevis* NCL912 using fed-batch fermentation. *Microbial Cell Factories*, *9*. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-9-85>
- Lin, Q. (2013). *Submerged fermentation of Lactobacillus rhamnosus YS9 for g-aminobutyric acid (GABA) production*. www.sbmicrobiologia.org.br
- Lyu, C., Zhao, W., Peng, C., Hu, S., Fang, H., Hua, Y., Yao, S., Huang, J., & Mei, L. (2018). Exploring the contributions of two glutamate decarboxylase isozymes in *Lactobacillus brevis* to acid resistance and γ -aminobutyric acid production. *Microbial Cell Factories*, *17*(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1029-1>
- Masuda, K., Guo, X. F., Uryu, N., Hagiwara, T., & Watabe, S. (2008). Isolation of marine yeasts collected from the pacific ocean showing a high production of γ -aminobutyric acid. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, *72*(12), 3265–3272. <https://doi.org/10.1271/bbb.80544>
- Ngo, D. H., & Vo, T. S. (2019). An updated review on pharmaceutical properties of gamma-aminobutyric acid. In *Molecules* (Vol. 24, Issue 15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules24152678>
- Nomura, M., Kobayashi, M., Ohmomo, S., & Okamoto, T. (2000). Inactivation of the Glutamate Decarboxylase Gene in *Lactococcus lactis* subsp. cremoris. In *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY* (Vol. 66, Issue 5). <https://journals.asm.org/journal/aem>
- Park, K. B., & Oh, S. H. (2007). Cloning, sequencing and expression of a novel glutamate decarboxylase gene from a newly isolated lactic acid bacterium, *Lactobacillus brevis* OPK-3. *Bioresource Technology*, *98*(2), 312–319. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2006.01.004>
- Kim, S. H., Shin, B. H., Kim, Y. H., & Jeon, S. J. (2007). Cloning and Expression of a Full-Length Glutamate Decarboxylase Gene from *Lactobacillus brevis* BH2. In *Biotechnology and Bioprocess Engineering* (Vol. 12).
- Porges, E. C., Woods, A. J., Lamb, D. G., Williamson, J. B., Cohen, R. A., Edden, R. A. E., & Harris, A. D. (2017). Impact of tissue correction strategy on GABA-edited MRS findings. *NeuroImage*, *162*, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.08.073>

- Ratanaburee, A., Kantachote, D., Charernjitrakul, W., & Sukhoon, A. (2013). Selection of γ -aminobutyric acid-producing lactic acid bacteria and their potential as probiotics for use as starter cultures in Thai fermented sausages (Nham). *International Journal of Food Science and Technology*, 48(7), 1371–1382. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12098>
- Ribeiro, S. C., Domingos-Lopes, M. F. P., Stanton, C., Ross, R. P., & Silva, C. C. G. (2018). Production of γ -aminobutyric acid (GABA) by *Lactobacillus otakiensis* and other *Lactobacillus* sp. isolated from traditional Pico cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 71(4), 1012–1017. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12527>
- Seo, Y. C., Choi, W. Y., Kim, J. S., Lee, C. G., Ahn, J. H., Cho, H. Y., Lee, S. H., Cho, J. S., Joo, S. J., & Lee, H. Y. (2012). Enhancement of the Cognitive Effects of γ -Aminobutyric Acid from Monosodium Glutamate Fermentation by *Lactobacillus sakei* B2-16. *Food Biotechnology*, 26(1), 29–44. <https://doi.org/10.1080/08905436.2011.645937>
- Siragusa, S., De Angelis, M., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., Coda, R., & Gobbetti, M. (2007). Synthesis of γ -aminobutyric acid by lactic acid bacteria isolated from a variety of Italian cheeses. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(22), 7283–7290. <https://doi.org/10.1128/AEM.01064-07>
- Tamura, T., Noda, M., Ozaki, M., Maruyama, M., Matoba, Y., Kumagai, T., & Sugiyama, M. (2010). Establishment of an Efficient Fermentation System of Gamma-Aminobutyric Acid by a Lactic Acid Bacterium, <i>Enterococcus avium</i> G-15, Isolated from Carrot Leaves. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 33(10), 1673–1679. <https://doi.org/10.1248/bpb.33.1673>
- Ueno, H. (2000). Enzymatic and structural aspects on glutamate decarboxylase. In *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* (Vol. 10). www.elsevier.com/locate/molcatb
- Wang, C., Zhu, C. L., Huang, Z. J., Wang, G., Huang, Q., Liu, C. H., & Wang, W. (2016). γ -aminobutyric acid inhibits the growth of cholangiocarcinoma via cAMP/PKA signal pathway. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 9(6), 9992–9998.
- Wang, J. J., Lee, C. L., & Pan, T. M. (2003). Improvement of monacolin K, γ -aminobutyric acid and citrinin production ratio as a function of environmental conditions of *Monascus purpureus* NTU 601. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30(11), 669–676. <https://doi.org/10.1007/s10295-003-0097-2>
- Wang, Q., Liu, X., Fu, J., Wang, S., Chen, Y., Chang, K., & Li, H. (2018). Substrate sustained release-based high efficacy biosynthesis of GABA by *Lactobacillus brevis* NCL912. *Microbial Cell Factories*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0919-6>
- Wiens, S. C., & Trudeau, V. L. (2006). Thyroid hormone and γ -aminobutyric acid (GABA) interactions in neuroendocrine systems. In *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* (Vol. 144, Issue 3, pp. 332–344). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.01.033>
- Wu, C. H., Hsueh, Y. H., Kuo, J. M., & Liu, S. J. (2018). Characterization of a potential probiotic *Lactobacillus brevis* RK03 and efficient production of γ -aminobutyric acid in batch fermentation. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1). <https://doi.org/10.3390/ijms19010143>
- Yang, S. Y., Lü, F. X., Lu, Z. X., Bie, X. M., Jiao, Y., Sun, L. J., & Yu, B. (2008). Production of γ -aminobutyric acid by *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* Y2 under submerged fermentation. *Amino Acids*, 34(3), 473–478. <https://doi.org/10.1007/s00726-007-0544-x>
- Yu, T., Li, L., Zhao, Q., Wang, P., & Zuo, X. (2019). Complete genome sequence of bile-isolated *Enterococcus avium* strain 352. *Gut Pathogens*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13099-019-0294-9>
- Zhang, Y., Song, L., Gao, Q., Yu, S. M., Li, L., & Gao, N. F. (2012). The two-step biotransformation of monosodium glutamate to GABA by *Lactobacillus brevis* growing and resting cells. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 94(6), 1619–1627. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-3868-8>
- Zhao, A., Hu, X., Pan, L., & Wang, X. (2015). Isolation and characterization of a gamma-aminobutyric acid producing strain *Lactobacillus buchneri* WPZ001 that could efficiently utilize xylose and corncob hydrolysate. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(7), 3191–3200. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6294-2>
- Zhuang, K., Jiang, Y., Feng, X., Li, L., Dang, F., Zhang, W., & Man, C. (2018). Transcriptomic response to GABA-producing *Lactobacillus plantarum* CGMCC 1.2437T induced by L-MSG. *PLoS ONE*, 13(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199021>



Konsol Palplanş Duvarların Gömme Derinliklerinin Lineer Regresyon Analizi ile Tahmini

Recep Akan

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-9277-1659), recepakan@hotmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015292)

ATIF/REFERENCE: Akan, R. (2021). Konsol Palplanş Duvarların Gömme Derinliklerinin Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1336-1341.

Öz

Palplanş duvarlar geoteknik mühendisliği uygulamalarında, özellikle kazı sonucunda meydana gelen yanıl toprak basınçlarını karşılamak için yaygın olarak kullanılan istinat yapılarıdır. Konsol palplanş duvarların tasarımında gerekli gömme derinliğinin (D) ve palplanş kesitine etkiyecek maksimum eğilme momentinin (M_{max}) hesaplanması gereklidir. İnşaat mühendisliği uygulamalarında, gömme derinliğinin (D) belirlenebilmesi için yanıl toprak basınçlarının belirlenmesi ve üçüncü dereceden bir denklem çözülmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, konsol palplanş duvarlarda gömme derinliğinin tahmini için ifade elde edilmiştir. Çoklu regresyon analizi ile elde edilen ifade ile gömme derinliğinin başarılı şekilde tahmin edilebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Konsol palplanş duvarlar, Gömme derinliği, Çoklu regresyon analizi, Kazı

The Prediction of Embedment Depth of Cantilever Sheet Piles Using Linear Regression Analysis

Abstract

Sheet pile walls are commonly used retaining structures in geotechnical engineering applications, especially to meet the lateral earth pressures that occur as a result of excavation. In the design of cantilever sheet pile walls, it is necessary to calculate the required embedment depth (D) and the maximum bending moment (M_{max}) that will affect the sheet pile section. In civil engineering applications, lateral earth pressures must be determined and a third-order equation must be solved in order to determine the embedment depth (D). Within the scope of this study, an expression for the estimation of embedment depth in cantilever sheet pile walls was obtained. It has been seen that the embedding depth can be successfully estimated with the expression obtained by multiple regression analysis.

Keywords: Cantilever sheet pile, Embedment depth, Multiple regression analysis, Excavation

1. Giriş

Palplanş duvarlar geoteknik mühendisliği uygulamalarında, özellikle kazı sonucunda meydana gelen yanal toprak basınçlarını karşılamak için yaygın olarak kullanılan istinat yapılarıdır. Zemin özelliklerine, kazı derinliğine ve uygulama tipine bağlı olarak konsol duvarlar veya dışarıdan desteklenen duvarlar şeklinde olarak kullanılırlar. Palplanş duvarlar genellikle çelik olmak üzere ahşap veya betonarme olarak da inşa edilebilirler. Çelik palplanş duvarlar, birbirine geçen kenarlara sahiptirler ve bu sayede bütün bir duvar gibi çalışabilirler, su geçirimsizliği sağlarlar.

Konsol palplanş duvarlar, 5 - 6 m'ye kadar olan yükseklikler için kullanılırlar ve daha ötesinde dolgu tarafından daha fazla pasif direnç sağlamak için palplanş duvarlara ankrajlar tutturulur. Kalıcı yapılar olan istinat duvarlarından farklı olarak, palplanş duvarlar toprak kütlelerini yanal olarak genellikle geçici olarak desteklemek için inşa edilir. Ayrıca palplanş duvarlar istinat duvarların aksine rijit değil esnek yapılardır. Kazı yüzeyinin hemen bitişiğinde herhangi bir yapının mevcut olduğu durumlarda palplanş duvarlar en iyi seçimdir.

Palplanş duvarlar, altmış yıldan fazla bir süredir araştırma alanı olmuştur. Gömülü duvarlar üzerinde model çalışmaları yapan çalışmalardan bazıları Rowe(1951), Bransby ve Milligan(1975) tarafından yapılmıştır. Rowe(1952), sürşarj yük, ankrajların konumu, kazı seviyesi, zemin tipi, duvar esnekliği ve zemin basıncının esnek istinat duvarı üzerindeki dağılımı gibi farklı parametrelerin esnek istinat duvarları üzerine etkisini incelemiştir.

Konsol palplanş duvarların tasarımında gerekli gömme derinliğinin (D) ve palplanş kesitine etkiyecek maksimum eğilme momentinin(Mmax) hesaplanması gereklidir. Mevcut inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak Rankine toprak basınçları teorisine dayalı yaklaşık yöntem ile elde edilen bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan birçok teorik yöntemin yanında, daha kolay tahmin edilebilecek ampirik ve yarı ampirik yöntemler mevcuttur (Coduto, 2001; Das, 2007). Palplanş duvarların normalleştirilmiş gömme derinlikleri için ilişkiler daha önce yayınlanmış olan çalışmalarda incelenmiştir (Bolton, Powrie & Symons, 1990a, 1990b, 1989; Choudry, Singh & Goel, 2006; Hagerty & Nofal, 1992). Bolton, Powrie & Symons(1990a, 1990b, 1989), konsol ve destekli palplanş duvarlar için normalleştirilmiş gömme derinlikleri için drenajsız kayma mukavemeti (kohezyonlu zeminler için) ve sürtünme açısına (kohezyonsuz zeminler için) bağlı tasarım çizelgeleri sunmuştur. Hagerty & Nofal(1992), kumlu zeminlere gömülen ankrajlı palplanş duvarlar için normalleştirilmiş gömme derinliği ve ankraj kuvveti için basitleştirilmiş tasarım çizelgeleri sağlamıştır. Choudry & ark.(2006), yatay hat çizgisel yüke maruz kalan palplanş duvarların gömme derinliklerini hesaplamak için normalleştirilmiş ilişkiler sunmuştur. Gajan(2011), kohezyonsuz zeminlere gömülü palplanş duvarların ve kazıklı duvarların gömme derinliklerini hesaplamak için normalleştirilmiş, boyutsuz ilişkiler sunmuştur.

Bunun yanında Akbay ve ark.(2020), betonarme bir istinat duvarının tasarımıyla ilgili bir ifade elde edebilmek, Choi & Lee(2010), istinat duvarı seçimi için bir karar şeması elde etmek, Srivastava & Malhotra(2016), istinat duvarına etkiyen aktif ve pasif yatay toprak basınçlarını tahmin etmek ve Dagdeviren & Kaymak(2020), T biçimli bir istinat duvarına ön boyutlandırma önerisi elde etmek amacıyla regresyon analizinden istifade etmişlerdir.

Konsol palplanş duvarların gömme derinliklerinin bulunabilmesi için duvarlara etkiyen yatay yükler belirlendikten sonra duvarın tabanında momentin sıfır olması eşitliğine dayanan üçüncü dereceden bir denklemin kökü elde edilir. Bu çalışma kapsamında bu işlemi basit hale getirebilecek bir ifade elde edilmeye çalışılmış ve bu amaçla sadece arka yüzünde su basıncına maruz kalan kum bir zemine çakılan konsol palplanş duvar için gerekli gömme derinliği çoklu regresyon yöntemi ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 2106 farklı modele sahip zemine ankstre palplanş çözümü Matlab R2015a yardımıyla gerçekleştirilerek sonuçlar SPSS Statistics v17.0 yardımıyla çoklu regresyon analizine tabi tutulmuş ve palplanş için gerekli gömme derinliğinin tahmin edilebilmesi için ifadeler elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, toplam 2106 adet konsol palplanş duvar modelinin çözümleri Matlab R2015a yardımıyla gerçekleştirilmiş ve sonuçlar SPSS Statistics v 17.0 yardımıyla adım adım çoklu regresyon analizi gerçekleştirilerek gömme derinliğini tahmin edebilmek için denklemler elde edilmiştir. Elde edilen ifadelerin tahmin başarıları regresyon katsayısı R^2 ve bunun yanında ortalama mutlak relatif hata (MARE) ile belirlenmiştir. Kurulan modeller, bunlara ait ifadeler ve bu ifadelerin tahmin başarısına ait değerlendirme bilgileri tablolar halinde sunulmuştur. En yüksek düzeltilmiş regresyon katsayısına, R^2 , sahip modellere ait saçılım grafikleri de gösterilmiştir.

2.1. Konsol Palplanşlar

Yapılan deneysel çalışmalarda konsol palplanş duvarların O gibi bir noktadan dönme davranışı gösterdikleri ve dolayısıyla bu noktanın alt kısmında aktif ve pasif toprak basınçlarının yer değiştirdikleri gözlenmiştir (Das, 2014). Bu durumda oluşacak toprak basınçları Şekil 1' deki gibi gösterilebilir.

Çalışma kapsamında, çözümü daha basit hale getirebilmek için yaklaşık analiz yöntemi kullanılmıştır. Yaklaşık analizde, duvarın arkasındaki aktif basınç dağılımı ve duvar önündeki pasif basınç dağılımının O noktasına kadar etki ettiği, O noktasının altındaki aktif ve pasif kuvvetlerin O noktasında bir bileşke olarak etki ettiği kabul edilir (Sitharam, 2013). Bu kabul ile bulunan D değeri %20 artırılarak O noktasının altında kalan uzunluk dikkate alınmış olur (Powrie, 1997). Şekil 2' de yaklaşık analiz yöntemine ait yatay toprak basınç dağılımları gösterilmiştir.

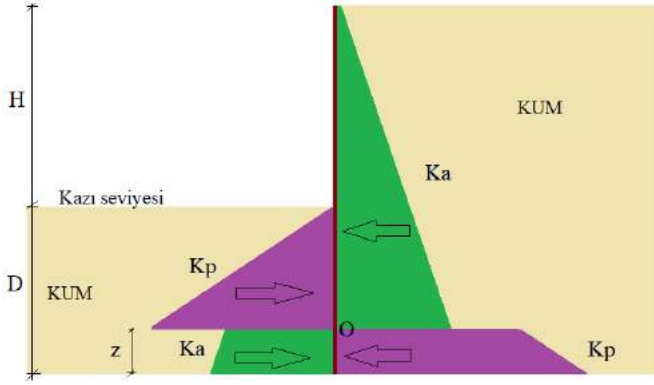
Rankine(1857) teorisine göre, aktif ve pasif yanal toprak basınç katsayıları sırasıyla şu şekilde elde edilebilir (Denklem 1-2):

$$K_a = \frac{1 - \sin(\phi)}{1 + \sin(\phi)} \quad (1)$$

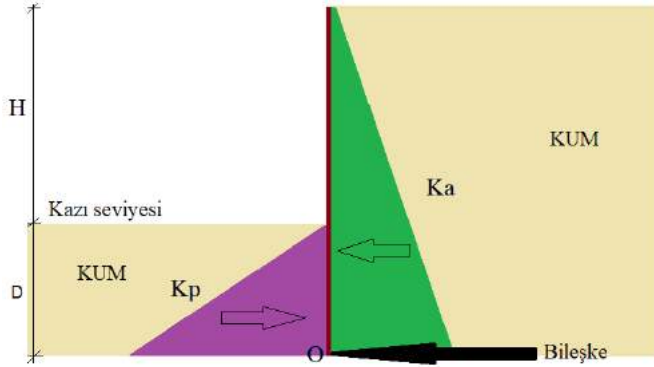
$$K_p = \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \quad (2)$$

Burada ϕ , zeminin sürtünme açısıdır.

Rankine teorisini ve duvarın tabanı etrafındaki moment dengesini kullanarak, konsol palplanş duvarlar için aktif ve pasif toprak basınçları ile duvar tabanında kurulan moment dengesi aşağıdaki ifadeler ile elde edilebilir (Denklem 3-5).



Şekil 1. Konsol palplanş duvara etkiyen yanal toprak kuvvetleri



Şekil 2. Yaklaşık yöntemde kabul edilen yanal toprak kuvvetleri

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot (H+D)^2 \cdot K_a \quad (3)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot D^2 \cdot K_p \quad (4)$$

$$K_a \cdot (H+D)^3 = K_p \cdot D^3 \quad (5)$$

Burada, H, kazı derinliğini, D, gömme derinliğini göstermektedir. Ayrıca γ' , zeminin efektif birim ağırlığını göstermektedir ve Denklem 6 yardımıyla bulunabilir. Çalışma kapsamında suyun birim hacim ağırlığı, $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$ alınmıştır.

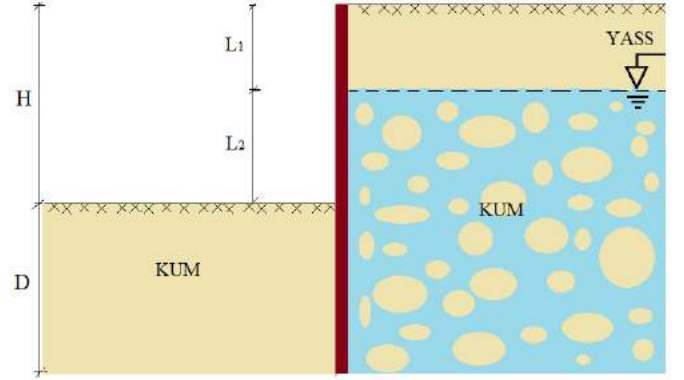
$$\gamma' = \gamma_d - \gamma_w \quad (6)$$

2.2. Model

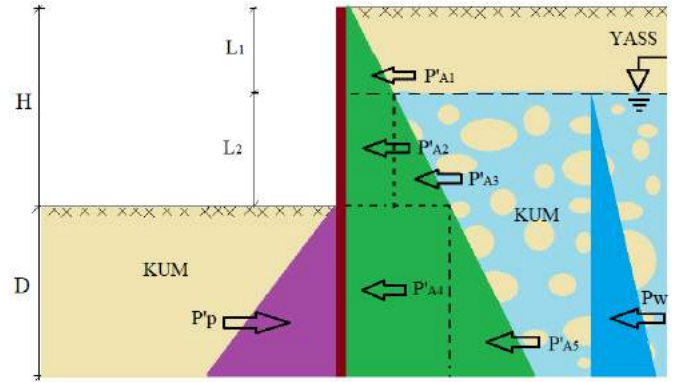
Çalışma kapsamında, kum bir zemine gömülü konsol çalışan bir palplanş duvarın çözümleri gerçekleştirilmiştir. Çözümü gerçekleştirilen modellerde kum zeminin içsel sürtünme açısı, ϕ , için 20 ile 45 aralığında birer artan değerler; kazı derinliği, H, 2m ile 6m arasında; yeraltı su seviyesi (YASS), L1 ile temsil edilmiş ve 0m ile 6m arasında 0.5m aralıklı değerler kullanılmıştır. YASS üzerinde kalan zemin birim hacim ağırlığı, $\gamma_n = 19 \text{ kN/m}^3$ ve YASS altında kalan zeminin doygun birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 21 \text{ kN/m}^3$ olarak alınmıştır. İlgili modele ait şematik gösterim Şekil 3' te sunulmuştur.

Oluşturulan modelde meydana gelecek aktif ve pasif yanal toprak basınçları ile hidrostatik su basıncı Şekil 4' teki gibi olacaktır. Bu durumda aktif toprak basıncının bileşenleri (P'_{A1} , P'_{A2} , P'_{A3} , P'_{A4} , P'_{A5}), pasif toprak basınç kuvveti, P'_p , hidrostatik su

basıncı, P_w , ve moment dengesi aşağıdaki ifadeler ile elde edilebilir (Denklem 7-14). Moment dengesinden elde edilen üçüncü dereceden denklemin pozitif kökü bulunarak palplanş duvarın gömme derinliği bulunur.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan zemin profili ve konsol palplanş duvar modeli



Şekil 4. Çalışmada kurulan modele etkiyen yanal kuvvetler ve bileşenleri

$$P'_{A1} = \frac{1}{2} K_a \gamma_n L_1^2 \quad (7)$$

$$P'_{A2} = \gamma_n K_a L_1 L_2 \quad (8)$$

$$P'_{A3} = \frac{1}{2} K_a \gamma' L_2^2 \quad (9)$$

$$P'_{A4} = K_a D [L_1 \gamma_n + L_2 \gamma'] \quad (10)$$

$$P'_{A5} = \frac{1}{2} K_a \gamma' \quad (11)$$

$$P'_p = \frac{1}{2} K_p \gamma' D^2 \quad (12)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w (D + L_2)^2 \quad (13)$$

$$P'_{A1} \left(D + L_2 + \frac{L_1}{3} \right) + P'_{A2} \left(D + \frac{L_2}{2} \right) + P'_{A3} \left(D + \frac{L_2}{3} \right) + \frac{1}{2} K_a D^2 [L_1 \gamma_d + L_2 \gamma'] + \frac{1}{6} (K_a - K_p) \gamma' D^3 + \frac{1}{6} \gamma_w (D + L_2)^3 = 0 \quad (14)$$

2.3. Çoklu Regresyon Analizi

İstatistikte sıklıkla kullanılan regresyon analizi, regresyon kullanımı ile veriler arasındaki doğrusal korelasyonları matematiksel olarak tahmin eder (Olmschenk, Zhu & Tang, 2019). Değişken olarak bağımsız değişkenler (neden) ve bağımlı değişkenler (sonuç) kullanılmaktadır (Sato-Ilic, 2017). Bağımlı değişkeni bağımsız değişkenlerin nasıl etkilediğini keşfetmek ve aralarındaki neden-sonuç ilişkisini analiz etmek için regresyon

analizi tekniği kullanılmaktadır (Chantana ve ark., 2019; Zhang & Thomas, 2012). Regresyon analizi, bağımsız değişken sayısına göre basit regresyon analizi ve çoklu regresyon analizi olarak ikiye ayrılır. Basit regresyon analizinde bir bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken vardır ve aralarında neden-sonuç ilişkisi vardır. Çoklu regresyon analizlerinde bir bağımlı değişken ve en az iki bağımsız değişken vardır. Genel bir çoklu regresyon denklemi aşağıdaki gibidir (Denklem 15).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (15)$$

Denklemden Y, bağımlı bir değişken ve X, bağımsız bir değişken anlamına gelirken ε , hata terimidir.

Bir regresyon denkleminde değişkenler arasındaki ilişkiyi yargılamak için kriter, regresyon katsayısıdır (R^2) (Polat, 2015). Bu katsayı, bir regresyon denkleminin doğruluğunu ve bağımlı değişken için bağımsız bir değişkenin etkisini yargılamayı mümkün kılar. Bu nedenle, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki, çeşitli analiz koşullarında belirleme katsayısı ile değerlendirilir. Çalışmada ayrıca ikinci bir değerlendirme kriteri olarak ortalama mutlak relatif hata (MARE) kullanılmıştır. Bu değerlendirme kriteri tahmin edilen ve hesapla bulunan gömme derinlikleri arasındaki hatayı yüzde cinsinden vermektedir ve aşağıdaki denklem ile bulunur (Denklem 16).

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{T_t - H_t}{H_t} \right| \times 100 \quad (16)$$

n : Değerlendirilen veri sayısı

T_t : Tahmin edilen değer

H_t : Hesaplanan değer

Bu çalışmada, palplanş duvarların gömme derinliklerinin ve bu derinliklerin kazı derinliğine oranını tahmin etmeye yönelik iki farklı model kurulmuştur ve çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk modelde bağımlı değişken gömme derinliği, D, iken ikinci modelde gömme derinliğinin kazı derinliğine, DH, oranıdır. Bağımsız değişkenler ilk modelde fi, H, L1 iken ikinci modelde fi, H ve L1H' tır. Burada fi, içsel sürtünme açısını (ϕ); H, kazı derinliğini; L1, yeraltı su seviyesini (YASS) ve L1H, yeraltı su seviyesinin kazı derinliğine oranıdır. Çoklu regresyon analizleri, SPSS Statistics v17.0 yardımı ile adım adım (stepwise) analiz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle ilişkileri ayrı ayrı incelenerek çeşitli kombinasyonlarda alt modeller kurulur ve en iyi model belirlenmeye çalışılır. Bunun belirlenmesi için SPSS Statistics v17.0 öncelikle düzeltilmiş R^2 değerini dikkate almaktadır ve bununla birlikte çalışma kapsamında MARE de kullanılmaktadır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Palplanş duvarların gömme derinliğini ve gömme derinliğinin kazı derinliğine oranını belirlemek amacıyla kurulan iki model için elde edilen analiz sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2' de, bu modellere ait en iyi alt modeller için elde edilmiş ifadeler Tablo 3'te sunulmuştur. Modellerin tahmin başarısının belirlenmesi için programın verdiği R^2 ve ikinci bir değerlendirme kriteri olarak hesaplanan ortalama mutlak relatif hata (MARE) değerleri de bu tablolarda verilmiştir.

Tablo 1' de görüldüğü üzere gömme derinliğini tahmin etmek için kurulan modellerden, fi, H ve L1 değişkenlerinin birlikte kullanıldığı model en başarılı sonucu vermektedir.

Tablo 1. Model 1'e ait çoklu regresyon analizi sonuçları

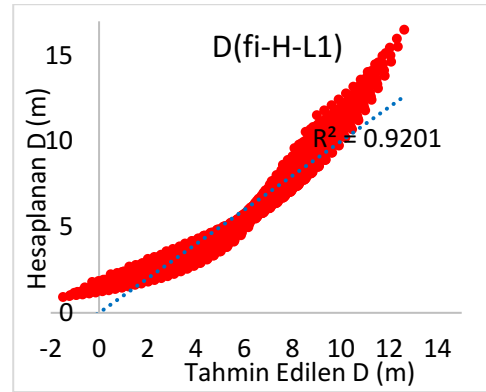
Model 1 (D)	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Standart Hata
fi	.725	.526	.525	1.92893
fi-H	.908	.824	.823	1.17664
fi-H-L1	.959	.920	.920	.79190

Tablo 2' de görüldüğü üzere gömme derinliğinin kazı derinliğine oranını tahmin etmek için kurulan modellerden, fi ve L1H değişkenlerinin birlikte kullanıldığı model en başarılı sonucu vermektedir.

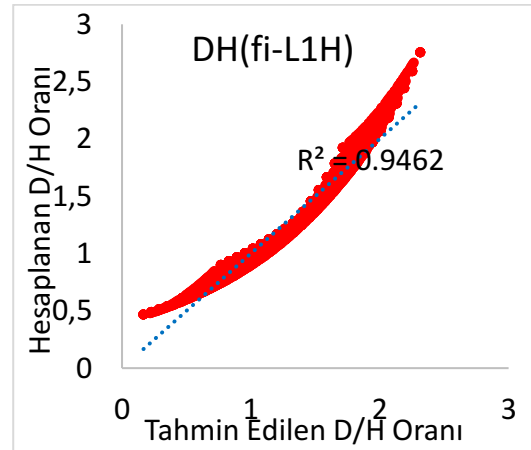
Tablo 2. Model 2'ye ait çoklu regresyon analizi sonuçları

Model 2 (DH)	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Standart Hata
fi	.897	.805	.805	.22883
fi-L1H	.973	.946	.946	.12022

Elde edilen çoklu regresyon denklemleri ile tahmin edilen ve teorik olarak hesaplanan D ve DH değerlerinin saçılımını ve bu saçılımı lineer olarak temsil eden doğruyu ve bu doğruya ait R^2 değerini gösteren grafikler aşağıdaki gibidir (Şekil 5-6). Bu grafiklerde bu doğru ve eğrilere ait denklemler ve bu denklemlerin R^2 değerleri de mevcuttur.



Şekil 5. Model 1'e ait tahmin edilen ve hesaplanan gömme derinliklerinin saçılımı



Şekil 6. Model 2'ye ait tahmin edilen ve hesaplanan gömme derinliği-kazı derinliği oranlarının saçılımı

Model 1 için düzeltilmiş R^2 değeri 0.92 iken MARE %15.534 ve Model 2 için R^2 değeri 0.946 iken MARE %9.243' tür (Tablo 3). Bu sonuçlar, bağımsız değişken olarak L1H ve bağımlı

değişken olarak DH kullanılması durumunda elde edilen ifadenin tahmin yeteneğinin arttığını göstermektedir.

Tablo 3. Model 1 ve Model 2'ye ait regresyon denklemleri ve değişkenleri

Model	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	Regresyon Denklemi (x)	MARE (%)	R^2
Model 1	D	fi-H-L1	D=8.820-0.27065*fi+1.536821*H-0.60263*L1	15.534	.920
Model 2	DH	fi-L1H	DH=3.555-0.062*fi-0.602*L1H	9.243	.946

4. Sonuç

Çalışma kapsamında, toplam 2106 adet kum zemine gömülü konsol palpları duvar modelinin çözümleri Matlab R2015a yardımıyla gerçekleştirilmiş ve sonuçlar SPSS Statistics v 17.0 yardımıyla adım adım çoklu regresyon analizi gerçekleştirilerek gömme derinliğini tahmin edebilmek için denklemler elde edilmiştir. Elde edilen ifadelerin tahmin başarıları regresyon katsayısı R^2 ve bunun yanında ortalama mutlak relatif hata (MARE) ile belirlenmiştir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir :

Çakma derinliğinin, D, içsel sürtünme açısı, yeraltı su seviyesi ve kazı derinliğini kullanarak tahmin edilebilirliği %15.5 ortalama mutlak relatif hata ile mümkündür.

Çakma derinliğinin kazı derinliğine oranı, DH, içsel sürtünme açısı ve yeraltı su seviyesinin kazı derinliğine oranı kullanarak tahmin edilebilirliği %9.2 ortalama mutlak relatif hata ile mümkündür.

Çakma derinliği ile ilgili ifade elde edilirken, bağımlı değişken olarak gömme derinliği yerine, gömme derinliğinin kazı derinliğine oranını ve bağımsız değişken olarak da yeraltı su seviyesi yerine, yeraltı su seviyesinin kazı derinliğine oranını kullanmak tahmin başarısını % 40 civarında artırmaktadır.

Kaynakça

Akbay, Z., Dalyan, İ., Akın, M. S., & Gençdal, H. B. (2020). An Application of TBEC-2018 in the Prediction of Retaining Wall Dimensions with Simple Regression Analysis. *Global Journal in Civil Engineering*, 2(2).

Bolton, M. D., Powrie, W., & Symons, I. F. (1989). The design of stiff in-situ walls retaining over consolidated clay-Part I: short-term behaviour. *Ground Engineering*, 22(8), 44–47.

Bolton, M. D., Powrie, W., & Symons, I. F. (1990a). The design of stiff in-situ walls retaining over consolidated clay-Part II: long-term behaviour (continued). *Ground Engineering*, 23(2), 22–28.

Bolton, M. D., Powrie, W., & Symons, I. F. (1990b). The design of stiff in-situ walls retaining over consolidated clay-Part II: short-term behaviour (continued). *Ground Engineering*, 22(9), 34–40.

Bransby, J. E., & Milligan, G. W. E. (1975). Soil Deformations near Cantilever Retaining Walls. *Geotechnique*, 24(2), 175–195.

Chantana, J., Kawano, Y., Kamei, A., & Minemoto, T. (2019). Description of degradation of output performance for photovoltaic modules by multiple regression analysis

based on environmental factors. *Optik*, 179, 1063–1070. <https://doi.org/10.1016/J.IJLEO.2018.11.040>

Choi, M., & Lee, G. (2010). Decision tree for selecting retaining wall systems based on logistic regression analysis. *Automation in Construction*, 19(7), 917–928. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2010.06.005>

Choudry, D., Singh, S., & Goel, S. (2006). New approach for analysis of cantilever sheet pile with line load. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 43(5), 540–549.

Coduto, D. P. (2001). *Foundation Design: Principles and Practices*. Prentice Hall.

Dagdeviren, U., & Kaymak, B. (2020). A regression-based approach for estimating preliminary dimensioning of reinforced concrete cantilever retaining walls. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 61(4), 1657–1675. <https://doi.org/10.1007/s00158-019-02470-w>

Das, B. M. (2007). *Principles of Foundation Engineering, 6th Edition*. Brooks/Cole Publishing Company.

Das, B. M. (2014). *Principles of Foundation Engineering*. Cengage Learning.

Gajan, S. (2011). Normalized Relationships for Depth of Embedment of Sheet Pile Walls and Soldier Pile Walls in Cohesionless Soils. *Soils and Foundations*, 51(3), 559–564. <https://doi.org/10.3208/SANDE.51.559>

Hagerty, D. J., & Nofal, M. M. (1992). Design aids-anchored bulkheads in sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 29(5), 789–795.

Olmschenk, G., Zhu, Z., & Tang, H. (2019). Generalizing semi-supervised generative adversarial networks to regression using feature contrasting. *Computer Vision and Image Understanding*, 186, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.CVIU.2019.06.004>

Polat, Ö. (2015). A robust regression based classifier with determination of optimal feature set. *Journal of Applied Research and Technology. JART*, 13(4), 443–446. <https://doi.org/10.1016/J.JART.2015.08.001>

Powrie, W. (1997). *Soil Mechanics: Concepts and Applications*. E and FN Spon, An imprint of Chapman and Hall.

Rankine, W. J. (1857). II. On the stability of loose earth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 147, 9–27.

Rowe, P. W. (1952). Anchored Sheet-pile walls. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1(1), 27–70. <https://doi.org/10.1680/icep.1952.10942>

Rowe, P. W. (1951). Cantilever sheet piling in cohesionless soil. *Engineering*, 316–319.

Sato-Ilic, M. (2017). Knowledge-based Comparable Predicted Values in Regression Analysis. *Procedia Computer Science*, 114, 216–223.

<https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2017.09.063>

Sitharam, T. G. (2013). *Advanced Foundation Engineering*. Indian Institute of Science.

Srivastava, A., & Malhotra, M. (2016). Earth Pressure behind a Retaining Wall under Linearly Varying Geotechnical Parameters. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(Special Issue 1), 1–8.

<https://doi.org/10.17485/IJST/2016/V9IS1/105809>

Zhang, J., & Thomas, L. C. (2012). Comparisons of linear regression and survival analysis using single and mixture distributions approaches in modelling LGD. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 204–215.

<https://doi.org/10.1016/J.IJFORECAST.2010.06.002>



Strength Behavior of Geopolymer Based SIFCON with Different Fibers

Mukhallad M. M. Al-Mashhadani ^{1*}

^{1*} Department of Civil Engineering, Istanbul Gelisim University, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1646-5879), mashhadani@gelisim.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

ATIF/REFERENCE: Al-Mashhadani, M. M. M. (2021). Strength Behavior of Geopolymer Based SIFCON with Different Fibers. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1342-1347.

Abstract

Fabricating cementitious composites with sustainable materials represents an essential aspect in the recent developments in the construction section. On the other hand, using fibers within the binding matrix to enhance its strength properties is a familiar application and holds significant importance to the research community. In this investigation, the Geopolymer matrix which is based on silica fume (micro silica) and blast furnace slag (GGBS) was reinforced with five different fiber types to form slurry fiber reinforced concrete (SIFCON). Hook-ended steel, crimped steel, elastoplastic, macro twisted, and macro nylon fibers were used, the results revealed the fact that steel-based specimens generally yielded better results when compared to specimens reinforced with other fiber types. Normal condition results of hook-ended and crimped fiber-based specimens yielded an increment of more than 10% in both compressive and flexural strength tests while their elevated temperature results showed strength loss rates less than specimens with other fiber types. Also, with acceptable performance in both conditions, macro twisted fibers can be considered as potential fibers for geopolymer based SIFCON.

Keywords: Geopolymer, SIFCON, Crimped fibers, Elastoplastic, Macro twisted.

Farklı Lifli Geopolimer Esaslı SIFCON Betonların Dayanım Davranışı

Öz

Sürdürülebilir malzemelerle çimentolu kompozitlerin üretilmesi, inşaat bölümündeki son gelişmelerde önemli bir yönü temsil ediyor. Öte yandan, mukavemet özelliklerini geliştirmek için bağlayıcı matris içinde liflerin kullanılması tanıdık bir uygulamadır ve araştırma topluluğu için önemli bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, silis dumanı (mikro silika) ve yüksek fırın çürüğü (GGBS) esaslı Geopolimer matris, bulamaç elyaf takviyeli beton (SIFCON) oluşturmak için beş farklı elyaf türü ile güçlendirildi. Kanca uçlu çelik, kıvrımlı çelik, elastoplastik, makro bükümlü ve makro naylon lifler kullanılmış, sonuçlar çelik esaslı numunelerin diğer lif türleri ile takviye edilmiş numunelere göre genel olarak daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuştur. Kanca uçlu ve kıvrımlı elyaf esaslı numunelerin normal durum sonuçları, hem basınç hem de eğilme mukavemeti testlerinde %10'dan fazla bir artış sağlarken, yüksek sıcaklık sonuçları diğer elyaf türlerine sahip numunelere göre daha az mukavemet kaybı oranları göstermiştir. Ayrıca, her iki koşulda da kabul edilebilir bir performansla makro bükümlü lifler, jeopolimer bazlı SIFCON için potansiyel lifler olarak kabul edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Geopolimer, SIFCON, kıvrımlı lifler, Elastoplastik lifler, Makro lifler.

1. Introduction

The construction sector around the world witnesses an increase in terms of using major resources such as water and natural rocks. Within this scope, the production of cementitious binding materials represents a major issue because of the greenhouse gas emissions. CO₂ emissions from cement production form approximately 7% of the total CO₂ emissions [1,2].

The aforementioned facts led so many researchers to develop new technologies and experimental attempts to fabricate alternative binders that are based on environmentally friendly materials. Within this field, many investigations were conducted to partially or fully replace ordinary Portland cement (OPC) [3]. Geopolymer technology, which was firstly developed by Prof. Joseph Davidovits, holds significant importance in terms of wastes utilization and fabricating non-cementitious binders which are based on wastes and by-product materials [4,5].

* Corresponding Author: mashhadani@gelisim.edu.tr

On the other hand, the flexural properties of cement-based composites always show weakness in tension zones due to the brittleness of cement composites [6]. In this concern, using fibers to enhance the flexural behavior is one of the familiar practices because of the high tensile strength of fibers [7,8].

In some experimental applications, the main goal was to gain a flexural strength that is close to the compressive strength. Slurry Fiber Reinforced Concrete (SIFCON) is one of the successful approaches in this field and is found in a wide range of applications that require high flexural strength [9-11].

Many research attempts focused on developing Geopolymer composites and SIFCON separately, but there is a lack of studying their behavior together, thus, the main objective of this investigation will be to evaluate the performance of geopolymer based SIFCON composites. Compressive and flexural strength properties of geopolymer-based SIFCON specimens fabricated with five various fibers (steel-hook ended, steel-crimped, elastoplastic, polyamide and nylon) were determined in normal condition and being subjected to elevated temperatures (250 and 500) °C.

2. Material and Method

The details of used materials, the mixing proportions, and the applied standards and test procedures were explained in this section as follows:

2.1. Materials

The main binding materials used in this study were silica fume (micro-silica) which was provided from Eti Antalya Electrometallurgy Inc. (Kepez–Antalya/Turkey) and ground granulated blast furnace slag (GGBS) which was provided from Bolu Cement Company (Bolu/Turkey), the chemical compositions of silica fume and slag are listed in table 1. Sodium silicate and sodium hydroxide were used as activators; their details are given in tables 2 and 3. Fine river sand which is correspondent to BS EN 196-1 [12] and Rilem Cembureau standard was used in this study. the Sieve analysis of river sand is shown in figure 2.

Five different fibers were in this study and their properties are given in table 4, Samples of the used fibers are shown in figure 3.



Fig. 1 A Sample of a) GGBS and b) silica fume

Table 1 Chemical composition of silica fume and GGBS

Chemical Analysis	GGBS	Silica Fume
SiO ₂	40.55	91.57
Al ₂ O ₃	12.83	0.38
Fe ₂ O ₃	1.10	0.15
TiO ₂	0.75	-
CaO	35.58	0.32
MgO	5.87	4.05
K ₂ O	0.68	2.58
Na ₂ O	0.79	0.55
L.O. I.	0.03	1.68

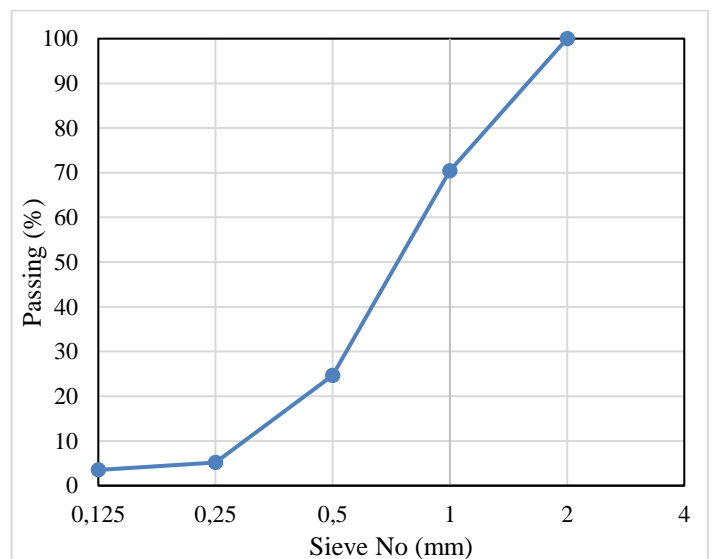


Fig. 2 Sieve analysis of river sand

Table 2 Properties of sodium hydroxide

NaOH (%)	Na ₂ CO ₃ (%)	Cl (%)	SO ₄ (%)	Al (%)	Fe (%)
99.1	0.3	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.002	≤ 0.002

Table 3 Properties of sodium silicate

Na ₂ O (%)	SiO ₂ (%)	Density (20°C) (g/ml)	Fe (%)	Heavy metals (as Pb) (%)
8.2	27.0	1.360	≤0.005	≤ 0.005

Table 4 Properties of used fibers

Type	L (mm)	D (mm)	Sp. Gravity (g/cm ³)	Tensile strength MPa	L/D
Hook ended	30	0.75	7.85	2100	40
Crimped	36	0.45	7.85	910	80
Twisted	45	0.6	0.91	850	75
elastoplastic	40	0.6	0.91	750	66
Macro nylon	45	0.55	1.14	500	81

Table 5 General mixing notes

Binder percentage	50% silica fume + 50% ggbs
Ratio of binder to filler	1: 2.25
Ratio of chemical solution to binder	0.5
Molarity of NaOH (M)	12
Curing system	Room temp.

Table 6 mixing proportions (g)

Silica fume	GGBS	Sand	Na ₂ SiO ₃	NaOH
225	225	1012.5	150	75

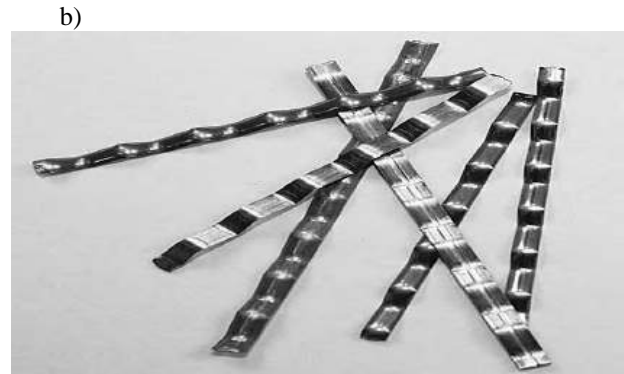
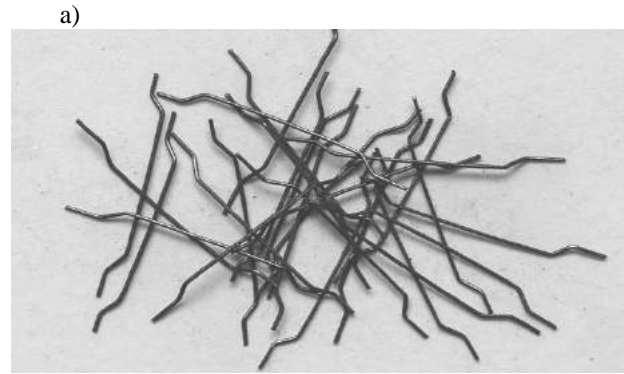


Fig. 3 Samples of a) steel-hook ended b) steel-crimped c) elastoplastic d) macro nylon e) macro twisted fibers

2.2. Mix proportions, mixing, and testing methods

Sodium hydroxide (12M) was prepared one day before the mixing day and left to cool. On the day of mixing, sodium hydroxide and sodium silicate were mixed to form the chemical activating solution. are given in table 5. Dry materials were first mixed and the chemical solution was added to form Geopolymer paste. Fine sand was then added to the paste to create Geopolymer slurry, the General mixing notes and the mixing proportions are given in tables 5 and 6, the mixing process is clarified in figure 1.

The designated molds for compressive and flexural strength tests were cubic molds with 50 mm side and prismatic molds with dimensions of (40×40×160) mm. the fibers used in this study were put in the mold before the casting process, the mixing process started by pouring Geopolymer slurry into the molds and then the casted specimens were vibrated to eliminate the air bubbles.

Specimens that were designated for elevated temperature tests were put into a high-temperature furnace, the heat increase rate was 1°C per minute and the heating process at the desired temperature lasted for one hour. After that, the specimens were allowed to cool to be tested later.

Concerning the tests in this study, compressive and flexural strength tests were conducted according to ASTM C109 [13] and ASTM 348 [14], respectively.

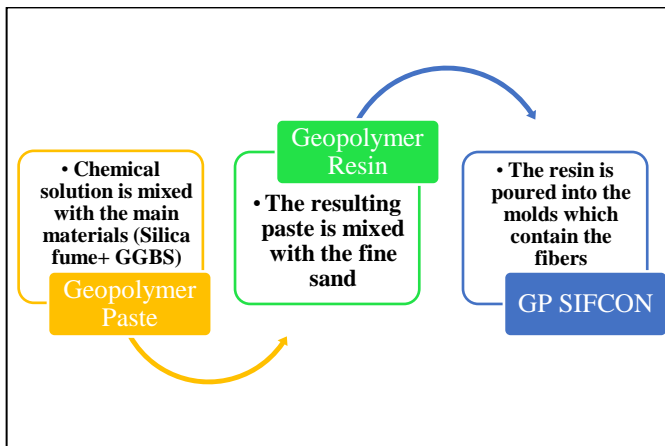


Fig. 4 Mixture steps of the conducted study

3. Results and Discussion

As stated in the previous sections, compressive and flexural strength results were determined and listed in Figures 5 and 6. The strength development from 7 days to 28 days was drawn for the fabricated series.

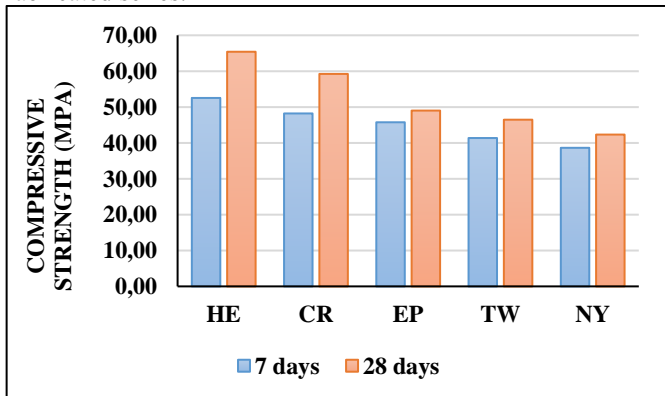


Fig. 5 Compressive strength results of the series

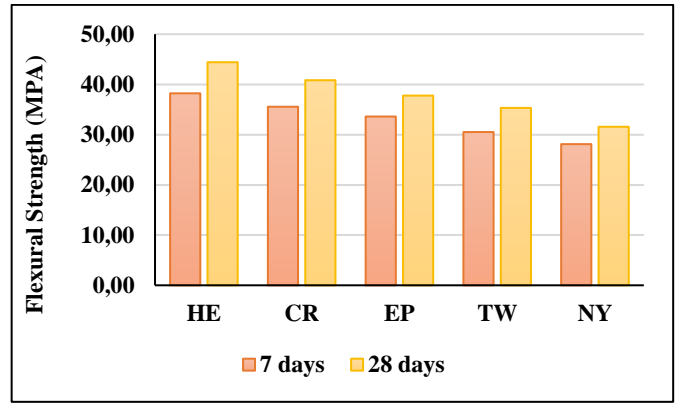


Fig. 6 Flexural strength results of the series

In addition to that, compressive and flexural strength results were listed comparatively with the 28th day's results as shown in figures 5 and 6.

3.1. Normal Condition

In general, the strength results for all series state the fact that the fabricated matrix yielded a development with time. As can be noticed from figure 5, compressive strength for all series developed significantly. The development percentages ranged from 7% for the EP series to 24% for the HE series. Series which are reinforced with hook ended and crimped fibers showed the highest increment rates from 7 to 28 days, this can be related to the fact that the interfacial interaction between the geopolymeric matrix and steel fibers is better than that with other fiber types, also, the findings comply with the previous research attempts in this concern [8,9].

Figure 6 shows that the flexural strength development percentages of all series are close to each other, the increment percentages varied from 12% for EP and NY series to 16% for HE series. These close percentages can be explained by knowing that the flexural behavior of SIFCON is mainly related to the behavior of the fibers [15,16]. HE and CR series showed better performance when compared to the other series because of the comparable properties of steel-based fibers [8]

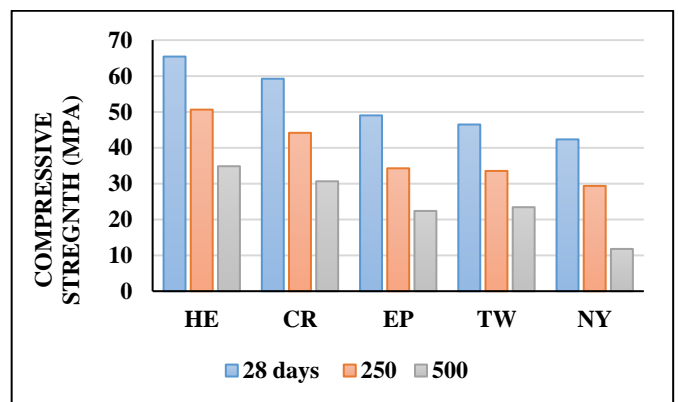


Fig. 7 Compressive strength results after elevated temperature tests

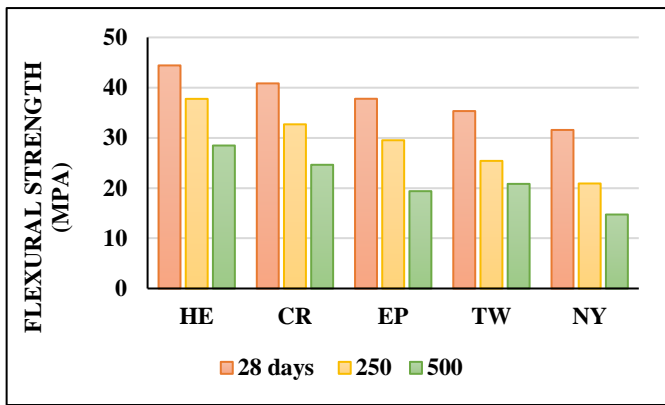


Fig. 8 Flexural strength results after elevated temperature tests

3.2. High Temperature Test

Concerning the elevated temperature tests, the compressive strength results which are given in figure 7 show that the decrement percentages in all series range between 22% for HE series and approximately 30 % for NY and EP series at 250°C and between 46% for HE series and 72% for NY series at 500°C.

Flexural strength which is given in figure 8 shows that loss percentages were between 14% (HE series) and 33% at 250°C, and between 35% (HE series) and 53% (NY series) at 500°C.

In general, the results show that specimens with steel fibers yielded better results in comparison to specimens reinforced with other fibers, this performance is related to the good interfacial bonding between fibers and geopolymeric matrix and to the comparable melting points of steel fibers in compliance with the findings [16].

On the other hand, the results of the specimens with macro synthetic twisted fibers revealed the fact that using these fibers is feasible in SIFCON applications, and with geopolymeric matrix, the findings are in line with the previous investigations in the field [17].

Although they showed weak performance when compared to steel and polyamide fibers, elastoplastic and nylon fibers could be used in this application as potential fiber for SIFCON.

4. Conclusion

This experimental investigation aimed to study the usage of different fibers with the geopolymeric matrix to fabricate SIFCON specimens, strength properties, namely compressive and flexural strengths, were determined in normal condition and after being subjected to elevated temperatures, the main conclusions can be drawn out from the results:

1. Generally, fabricating SIFCON with geopolymeric matrix is possible with slag-silica fume as the main precursors.
2. Specimens that were reinforced with steel fibers (hook ended and crimped) showed better results in both conditions when compared to other fibers because of the good fiber-matrix bonding degree as well as the comparable properties of fibers.

3. Using macro synthetic twisted fibers in SIFCON applications was found to be possible since these fibers showed an acceptable performance in the conducted tests.
4. In comparison to other fibers, elastoplastic and nylon fibers showed weaker strength results under the influence of elevated temperatures due to the low melting points of these fibers.

References

- [1] Yang, Keun-Hyeok, Jin-Kyu Song, and Keum-II Song. "Assessment of CO₂ reduction of alkali-activated concrete." *Journal of Cleaner Production* 39 (2013): 265-272.
- [2] Shi, Caijun, A. Fernández Jiménez, and Angel Palomo. "New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement." *Cement and concrete research* 41, no. 7 (2011): 750-763.
- [3] Hasanbeigi, Ali, Christoph Menke, and Lynn Price. "The CO₂ abatement cost curve for the Thailand cement industry." *Journal of Cleaner Production* 18, no. 15 (2010): 1509-1518.
- [4] Davidovits, Joseph. "Global warming impact on the cement and aggregates industries." *World resource review* 6, no. 2 (1994): 263-278.
- [5] Davidovits, Joseph. "Geopolymers and geopolymeric materials." *Journal of thermal analysis* 35, no. 2 (1989): 429-441.
- [6] Islam, Azizul, U. Johnson Alengaram, Mohd Zamin Jumaat, Nurasyiqin Binti Ghazali, Sumiani Yusoff, and Iftekhair Ibnul Bashar. "Influence of steel fibers on the mechanical properties and impact resistance of lightweight geopolymer concrete." *Construction and Building Materials* 152 (2017): 964-977.
- [7] Ganesan, N., Ruby Abraham, and S. Deepa Raj. "Durability characteristics of steel fibre reinforced geopolymer concrete." *Construction and Building Materials* 93 (2015): 471-476.
- [8] Bhutta, Aamer, Paulo HR Borges, Cristina Zanotti, Mohammed Farooq, and Nemkumar Banthia. "Flexural behavior of geopolymer composites reinforced with steel and polypropylene macro fibers." *Cement and Concrete Composites* 80 (2017): 31-40.
- [9] Aygörmmez, Yurdakul, Mukhallad M. Al-mashhadani, and Orhan Canpolat. "High-temperature effects on white cement-based slurry infiltrated fiber concrete with metakaolin and fly ash additive." *Revista de la construcción* 19, no. 2 (2020): 324-333.
- [10] Naaman, Antoine E., and Joseph R. Homrich. "Tensile stress-strain properties of SIFCON." *Materials Journal* 86, no. 3 (1989): 244-251.
- [11] Kar, David R. Lan. "Properties, applications: Slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON)." *Concrete International* 6, no. 12 (1984): 44-47.
- [12] En, British Standard. "Methods of testing cement—Part 1: Determination of strength." *European Committee for Standardization: Brussels, Belgium* 169 (2005): 36.
- [13] ASTM, C. "Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars." *ASTM International* (2008).

- [14] ASTM, ASTM. "C348-14 Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, ASTM Int." *West Conshohocken*.
- [15] Tuyan, Murat, and Halit Yazıcı. "Pull-out behavior of single steel fiber from SIFCON matrix." *Construction and Building Materials* 35 (2012): 571-577.
- [16] Beglarigale, Ahsanollah, Çağlar Yalçınkaya, Hüseyin Yiğiter, and Halit Yazıcı. "Flexural performance of SIFCON composites subjected to high temperature." *Construction and Building Materials* 104 (2016): 99-108.
- [17] Mohod, Milind V. "Performance of polypropylene fibre reinforced concrete." *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 12, no. 1 (2015): 28-36.



Stress Distribution in an Elastic Rod Subjected to Initial Tip Displacement

Mehmet N. Balci^{1*}

^{1*} Hacettepe University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Ankara, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4416-6761),
mehmetbalci@hacettepe.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015624)

ATIF/REFERENCE: Balci, M.N. (2021). Stress Distribution in an Elastic Rod Subjected to Initial Tip Displacement. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1348-1355.

Abstract

This study presents computational method to examine the displacement and stress distribution within an elastic rod made of different materials. Steel, aluminum alloys and titanium alloys have been widely used in many engineering fields such as automotive, aerospace, energy and medical applications. Hence, dynamic displacement and stress distributions in elastic rods manufactured by these materials has a crucial importance. In order to obtain displacement and stress, wave propagation problem is modeled based on one dimensional (1-D) wave equation. Boundary conditions are assumed as fixed-free, and elastic rod is subjected to tip displacement at free end, initially. Analytical solution is performed by means of separation of variables, and natural frequencies and displacement distributions are found. Computational method is developed based on the discretization of wave equation in space and time parameters utilizing explicit scheme. Displacement and stress distribution within the elastic rod is obtained computationally. Analytically and computationally obtained results are compared, and excellent agreement is achieved. Then, parametric analyses are conducted to examine the influences of time, the level of tip load and material type on displacement and stress distributions. It is observed that developed computational method is fast and reliable in accurate determination of displacement and stress within elastic rod made of various kinds of materials.

Keywords: Longitudinal wave, Elastic rod, Analytical method, Explicit method, Stress distribution.

İlk Uç Yer Değiştirmesine Maruz Kalan Elastik Çubukta Gerilme Dağılımı

Öz

Bu çalışma, farklı malzemelerden yapılmış bir elastik çubuk içerisindeki yer-değiştirme ve gerilme dağılımlarını incelemek için hesaplamalı bir yöntem sunmaktadır. Çelik, alüminyum alaşımları ve titanyum alaşımları otomotiv, havacılık, enerji ve tıbbi uygulamalar gibi birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu malzemelerden imal edilen elastik çubuklarda dinamik yer-değiştirme ve gerilme dağılımları büyük önem taşımaktadır. Yer-değiştirme ve gerilmeyi elde etmek için dalga yayılım problemi tek boyutlu (1-D) dalga denklemi esas alınarak modellenmiştir. Sınır koşulları sabit-serbest olarak kabul edilmiştir ve elastik çubuk başlangıçta serbest uca uç yer-değiştirmesine maruz bırakılmıştır. Analitik çözüm, değişkenlerin ayrılması yoluyla gerçekleştirilir ve doğal frekanslar ve yer-değiştirme dağılımları bulunur. Hesaplamalı yöntem açık (explicit) şema kullanılarak uzay ve zaman parametrelerinde dalga denkleminin ayrıklaştırılmasına dayalı olarak geliştirilmiştir. Elastik çubuk içindeki yer-değiştirme ve gerilme dağılımı hesaplamalı olarak elde edilir. Analitik ve hesaplamalı olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılır ve mükemmel bir uyum sağlanır. Daha sonra, zaman, uç yük seviyesi ve malzeme tipinin yer-değiştirme ve gerilme dağılımlarına olan etkisini incelemek için parametrik analizler yapılır. Geliştirilen hesaplamalı yöntemin farklı tür malzemelerden imal edilmiş elastik çubukta yer-değiştirme ve gerilme dağılımlarının doğru şekilde belirlenmesinde hızlı ve güvenilir olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boyuna dalga, Elastik çubuk, Analitik yöntem, Açık yöntem, Gerilme dağılımı.

* Corresponding Author: mehmetbalci@hacettepe.edu.tr

1. Introduction

Bars and rods are widely used in industry as machine components such as wire rods, connecting rods, crankshafts, turbine shafts. Therefore, dynamic stress response of these components are significant in design process. Steels AISI 1006, AISI 1020 steels are used in panels in automobiles, camshafts, pins, axles and light duty gears. Ti6Al4V is lightweight and strong material which is very suitable in the utilization of jet engines, gas turbines and many airframe components. (Inagaki et al., 2014; Boyer, 1996; Singh et al., 2017; Uhlmann et al., 2015). However, marine, automotive, energy and medical industries have interested this alloy during the last century. Al alloy 6061 is used in automotive steering knuckles (Jeon et al., 2018) since it was reported that it reduced the vehicle weight (Sharma et al., 2011; Vijayarangan et al., 2013). The behavior of the stress waves within the material is important in the aspect of dynamic material response. Elastic waves and vibrations of thin rods were examined (Prescott, 1942). The propagation of longitudinal waves along cylindrical bars was studied analytically by Kolsky (1954). Hutchinson (1972) and Hutchinson (1980) investigated vibrations of finite length rod and solid cylinder. A series solution was developed for the longitudinal vibration of elastically restrained rods (Xu et al., 2019). Yang et al. (2021) conducted an analytical work based on Laplace transformation to find propagation of stress pulses in a Rayleigh-Love elastic rod. Solution of wave problems using analytical methods is generally laborious and time-consuming.

This study shows the efficiency of the computational method based on explicit scheme for longitudinal wave propagation problems in elastic rods. Dynamic stress distribution is calculated through the use of higher order finite difference formula, and obtained displacement and stress results display a high degree of accuracy with analytically or theoretically obtained results. Parametric studies are conducted to observe the effect of time, tip displacement and material type on displacement and dynamic stress behavior.

2. Problem Model and Formulation

The general schematic of the addressed problem is depicted by Fig. 1. Elastic rod with a constant circular cross-section has a length L and subjected to initial tip displacement u_0 at the right end. x axis indicates the longitudinal direction. The left end is clamped, hence elastic rod is under fixed-free boundary conditions. The right end of the bar is always stress-free while interior sections expose to stress due to wave propagation. E and ρ respectively show the elastic modulus and the mass density of the material.

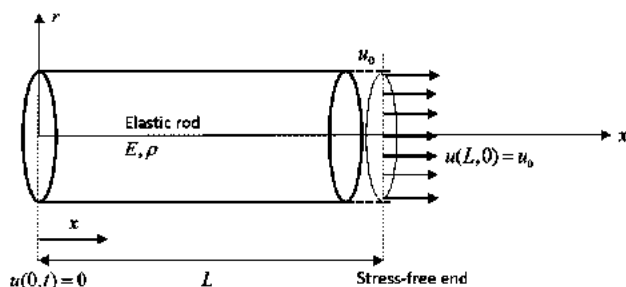


Fig. 1 Elastic rod subjected to initial tip displacement.

The longitudinal propagation of the wave within the elastic rod is modelled based on the one-dimensional (1D) wave propagation equation. This equation involves space and time variables as:

$$\rho \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq L, \quad t \geq 0, \tag{1}$$

$$u(0,t) = 0, \quad \frac{\partial u(L,t)}{\partial x} = 0, \quad t \geq 0, \tag{2}$$

$$u(x,0) = f(x) = u_0 \frac{x}{L}, \quad 0 \leq x \leq L. \tag{3}$$

$$u_t(x,0) = g(x), \quad 0 \leq x \leq L. \tag{4}$$

The analytical solution of this 1D partial differential equation is performed by using separation of variables technique as follows:

$$\frac{T''}{c^2 T} = \frac{X''}{X} = -\lambda^2, \tag{5}$$

where $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$.

$$X(x) = C_1 \sin(\lambda x) + C_2 \cos(\lambda x), \tag{6}$$

$$T(t) = C_3 \sin(\lambda ct) + C_4 \cos(\lambda ct), \tag{7}$$

When solutions given by Eq. (6) and Eq. (7) is combined, following general solution is obtained.

$$\begin{aligned} u(x,t) = & D_1 \sin(\lambda x) \cos(\lambda ct) \\ & + D_2 \sin(\lambda x) \sin(\lambda ct) \\ & + D_3 \cos(\lambda x) \cos(\lambda ct) \\ & + D_4 \cos(\lambda x) \sin(\lambda ct). \end{aligned} \tag{8}$$

D_1, D_2, D_3 and D_4 are unknown constants to be determined from boundary and initial conditions. Since $u(0,t) = 0, D_3$ and D_4 are zero. Hence, solution becomes as:

$$\begin{aligned} u(x,t) = & D_1 \sin(\lambda x) \cos(\lambda ct) \\ & + D_2 \sin(\lambda x) \sin(\lambda ct). \end{aligned} \tag{9}$$

When stress-free end boundary condition is applied $u_x(L,t) = 0$, the following equation is obtained.

$$\lambda_n = \frac{(2n-1)\pi}{2L}, \quad n = \mp 1, 2, 3, \dots \tag{10}$$

The natural frequencies of the bar is calculated using following formula:

$$\omega_n = \frac{c(2n-1)\pi}{2L}, \quad n = \mp 1, 2, 3, \dots \tag{11}$$

$$D_{1n} = \frac{2}{L} \int_0^L u_0 \frac{x}{L} \sin\left(\frac{n\pi x}{2L}\right) dx, \tag{12}$$

$$D_{1n} = 2u_0 \left(\frac{4}{n^2 \pi^2} \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) - \frac{2}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{2}\right) \right), \tag{13}$$

$$D_{2n} = 0, \tag{14}$$

Unknown coefficients are determined and general solution is obtained as:

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^N D_{1n} \sin(\lambda_n x) \cos(\lambda_n ct). \tag{15}$$

The computational method is developed based on the explicit scheme. The governing partial differential equation given by Eq. (1) is discretised in space and time.

$$\frac{u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_i^{j-1}}{(\Delta t)^2} = c^2 \frac{u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_{i-1}^j}{(\Delta x)^2}, \tag{16}$$

Eq. (16) can be written in a more compact form by introducing the Courant number as $\alpha = c \Delta t / \Delta x$ (Cangellaris, 1993).

$$u_i^{j+1} = -u_i^{j-1} + 2(1 - \alpha^2)u_i^j + \alpha^2(u_{i+1}^j + u_{i-1}^j). \tag{17}$$

The proper solution can only be generated with convenient selection of space and time parameters which should satisfy the von Neumann stability analysis such as:

$$\alpha = \frac{c \Delta t}{\Delta x} \leq 1. \tag{18}$$

If condition provided by Eq. (18) is not satisfied, no proper solution can be generated. Boundary condition at fixed-end requires:

$$u_0^j = 0. \tag{19}$$

Boundary condition at stress-free end is applied using central difference as follows:

$$u_{N+1}^j = 2C\Delta x + u_{N-1}^j. \tag{20}$$

where $C = 0$ due to the since stress-free condition. At each time step, following equation should be calculated due to the specified boundary conditions. Space steps and time steps used in explicit scheme are displayed in Fig. 2. Δx and Δt show the space and time steps, respectively. Calculation of displacement u_i^1 is marked with box with red line.

$$u_N^{j+1} = -u_N^{j-1} + 2(1 - \alpha^2)u_N^j + \alpha^2(2u_{N-1}^j + 2C\Delta x). \tag{21}$$

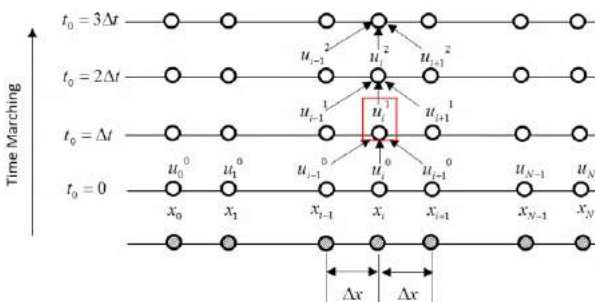


Fig. 2 Schematics of the explicit scheme for space and time variables.

Initial conditions are applied and following starter equation is obtained.

$$u_i^1 = \Delta t g_i + (1 - \alpha^2)u_i^0 + \frac{1}{2}\alpha^2(u_{i+1}^0 + u_{i-1}^0). \tag{22}$$

Since no velocity is defined within the rod initially, $g_i = 0$.

Stress within the elastic rod is calculated using Hooke's law as follows:

$$\sigma = E \varepsilon_x. \tag{23}$$

where $\varepsilon_x = \partial u / \partial x$. Initial theoretical stress in the elastic rod subjected to tip displacement u_0 can be calculated using:

$$\sigma_{theoretical} = \frac{u_0 E}{L}. \tag{24}$$

The term $\partial u / \partial x$ is calculated using higher order forward, centred and backward finite difference formulations, and computational stresses are expressed as:

$$\begin{aligned} \sigma_0^j &= E \frac{\partial u_0^j}{\partial x} \\ &= E \left(\frac{-u_2^j + 4u_1^j - 3u_0^j}{2\Delta x} \right), \end{aligned} \tag{25}$$

$$\begin{aligned} \sigma_i^j &= E \frac{\partial u_i^j}{\partial x} \\ &= E \left(\frac{-u_{i+2}^j + 8u_{i+1}^j - 8u_{i-1}^j + u_{i-2}^j}{12\Delta x} \right), \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned} \sigma_N^j &= E \frac{\partial u_N^j}{\partial x} \\ &= E \left(\frac{3u_N^j - 4u_{N-1}^j + u_{N-2}^j}{2\Delta x} \right). \end{aligned} \tag{27}$$

3. Results and Discussion

In this section, results are generated to examine the influence of time, level of tip deflection and material type on displacement and stress distributions. AISI 1006 (CD), AISI 1020 (CD), Ti6Al4V and Al alloy 6061 were utilized in longitudinal wave propagation analysis. Table 1 shows material properties (elastic modulus and mass density) for these materials with constituent elements as well (Matweb, 2021). It is observed that the elastic modulus for AISI 1006 (CD) is the highest while elastic modulus of the Al alloy 6061 is the lowest. Elastic modulus for the AISI 1020 (CD) steel is less than that of AISI 1006 (CD) steel since Carbon composition is increased 0.17-0.23% for this material.

Table 2 indicates wave propagation speeds for different materials utilized in wave propagation and stress analysis in the elastic rod.

Fig. 3 illustrates the mode shapes of the fixed-free elastic rod. While generating mode shapes, Eq. (6) is used. Maximum deflection is seen at Mode 1 at the free end of the rod. As Mode number is increased to 2, 3, 4, 5, ..., etc. deflection tend to decrease within the rod. The natural frequencies are generated for Ti6Al4V rod based on Eq. (11), and these frequencies are

provided in Table 3. Natural frequencies are increasing for higher mode numbers. First natural frequencies for AISI 1006 (CD), AISI 1020 (CD), Al alloy 6061 are 8035.4 Hz, 7636.4 Hz, 7940 Hz, respectively. The lowest natural frequency is observed for AISI 1020 (CD) steel.

Table 1. Material properties.

Material	Elastic Modulus (GPa)	Density [kg/m ³]	Constituents
AISI 1006 (CD)	206	7872	<=0.08% C 99.43-99.75% Fe 0.25-0.40% Mn <=0.040% P <=0.050% S
AISI 1020 (CD)	186	7870	0.17-0.23% C 99.08-99.53% Fe 0.30-0.60% Mn <=0.040% P <=0.050% S
Ti6Al4V	113.8	4430	<=0.08% C <=0.015% H <=0.040% Fe <=0.030% N 87.725-91% Ti 3.5-4.5% V Others <=0.30%
Al alloy 6061	69.0	2700	96.15-98.61% Al 0.040-0.35% Cr 0.15-0.40% Cu <=0.70% Fe 0.80-1.2% Mg

Table 2. Longitudinal wave propagation speeds for various materials.

Material	Wave speed c [m/s]
AISI 1006 (CD)	5115.5
AISI 1020 (CD)	4861.5
Ti6Al4V	5068.4
Al alloy 6061	5055.3

Table 3. Natural frequencies for Ti6Al4V elastic rod.

Mode no	Frequency [Hz]
1	7961.39
2	23884.18
3	39806.97
4	55729.76
5	71652.55

Longitudinal wave propagates from the free end towards the fixed end of rod. The length of the rod is assumed as $L = 1\text{ m}$. This wave reaches the fixed end at specified time named as reflection time t_r . When longitudinal wave hits the fixed end, it reflects from this fixed end and propagates back to the free-end. The reflection time can simply be found by,

$$t_r = \frac{L}{c}. \tag{28}$$

Fig. 4 depicts the displacement distribution in the elastic rod made of Ti6Al4V for various times corresponds to before reflection ($t_r/2$), reflection (t_r) and after reflection ($3t_r/2$).

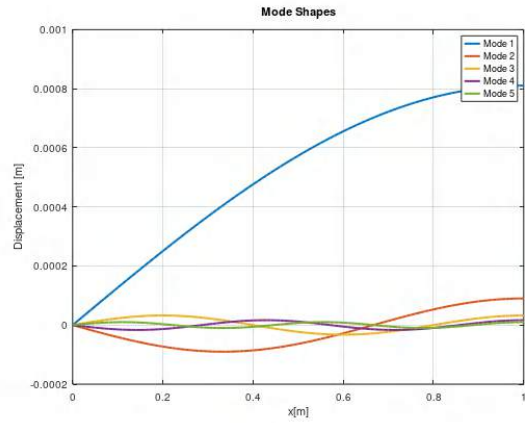


Fig. 3 Mode shapes of the elastic rod.

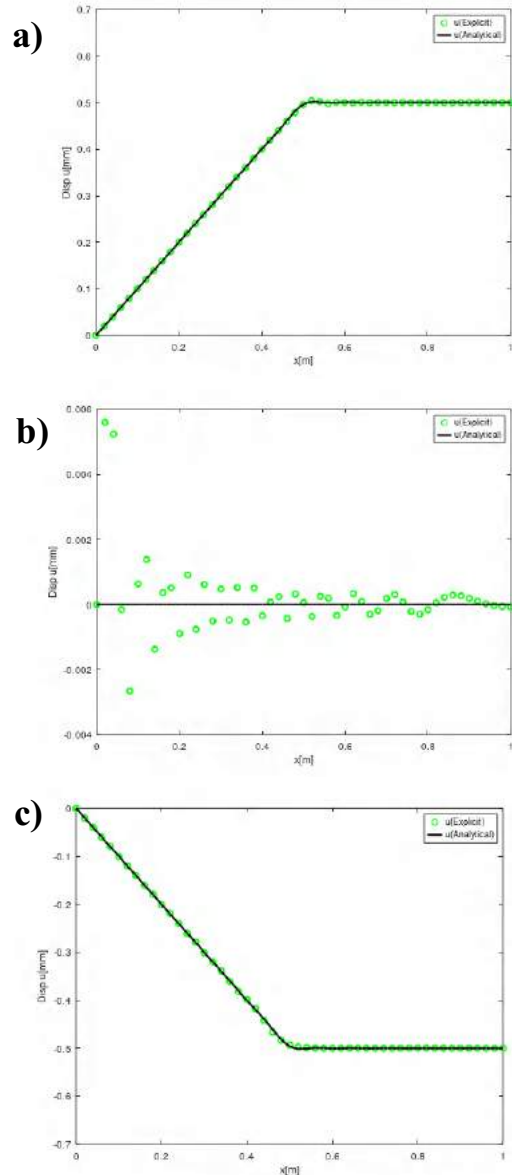


Fig. 4 Displacement distribution in Ti6Al4V rod for various time, $u_0 = 1\text{ mm}$, (a) $t = t_r/2$, (b) $t = t_r$, (c) $t = 3t_r/2$.

Black solid line shows the displacement distribution obtained by analytical solution while green dot points indicate displacement distribution acquired by computational method. It can obviously seen that results obtained by two different methods exhibit high level of accuracy, that implies the power of computational method on wave propagation analysis. Fig. 4(a) and Fig. 4(c) shows displacements before reflection and after reflection, respectively. Slight amount of difference occur between analytical and computational results only in reflection time (t_r) as seen in Fig. 4(b) due to the participation of rounding errors at that time.

Fig. 5(a) illustrates the displacement distribution within the Ti6Al4V rod for various levels of the initial tip displacement. Time is set to $t = t_r/2$ which shows the wave propagation before the reflection. Displacement level becomes the half of the applied initial tip displacement in the middle of the rod ($L/2$). It can be inferred from Fig. 5(a) that computational result display a high degree of accuracy with analytical result for various levels of initial tip displacement. Fig. 5(b) demonstrates the dynamic stress distribution obtained computationally in Ti6Al4V rod by red dot points at time $t = t_r/2$ (before reflection). The black solid line in Fig. 5(b) indicates theoretical initial stress within the Ti6Al4V rod according to the formula given in Eq. (24). Hence these stresses are 113.8 MPa, 227.8 MPa and 569 MPa for tip displacements $u_0 = 1\text{ mm}$, $u_0 = 2\text{ mm}$ and $u_0 = 5\text{ mm}$, respectively. Longitudinal wave propagation starts from free-end at $t = 0$ and when time become $t = t_r/2$, this wave stands in the middle of the rod ($L/2$). Therefore, dynamic stress tend to zero ($\sigma = 0$) after $x = 0.5\text{ m}$. Between the interval of $0 \leq x \leq 0.5\text{ m}$, stresses are not zero and again theoretically obtained initial stress and computationally acquired dynamic stress display a high level of accuracy. Fig. 6 - Fig. 9 show stress distribution in AISI 1006 (CD), AISI 1020

(CD), Ti6Al4V, Al alloy 6061 rod, respectively. Black solid line shows the theoretical stress initially and blue dot points show dynamic stresses at initial time u_i^0 . In these figures, red dotted lines demonstrate dynamic stress distribution obtained by developed computational method.

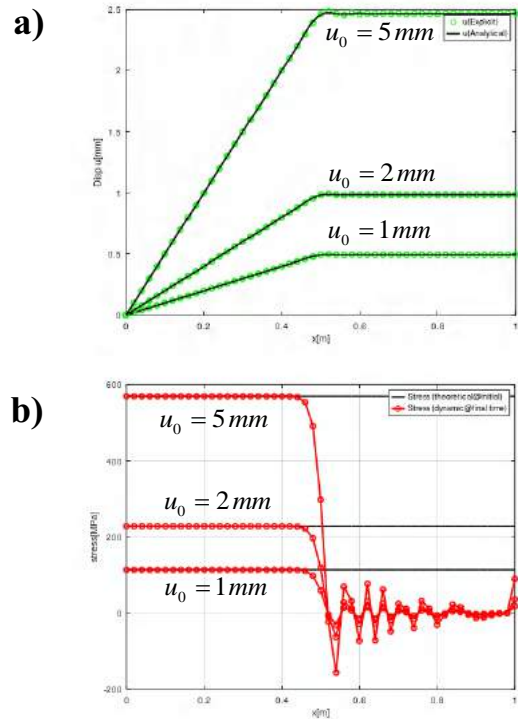


Fig. 5 (a) Displacement, (b) Stress distribution in Ti6Al4V rod for various values of tip displacements, $u_0 = 1\text{ mm}$, $u_0 = 2\text{ mm}$, $u_0 = 5\text{ mm}$.

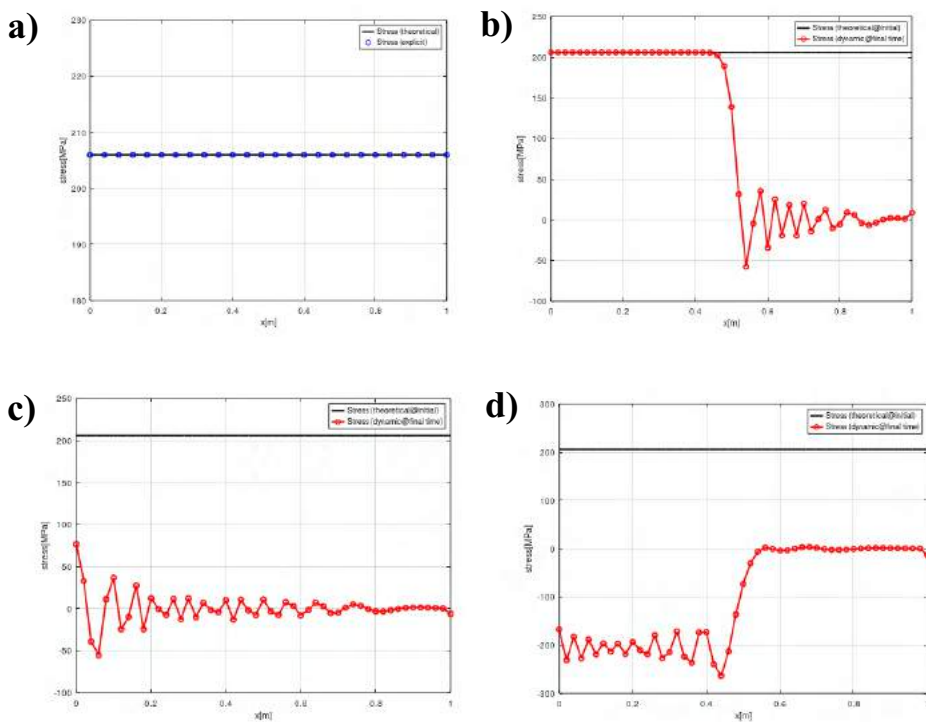


Fig. 6 Dynamic stress distribution in AISI 1006 (CD) steel rod for various values time $u_0 = 1\text{ mm}$, (a) $t = 0\text{ s}$, (b) $t = t_r/2$, (c) $t = t_r$, (d) $t = 3/2 t_r$.

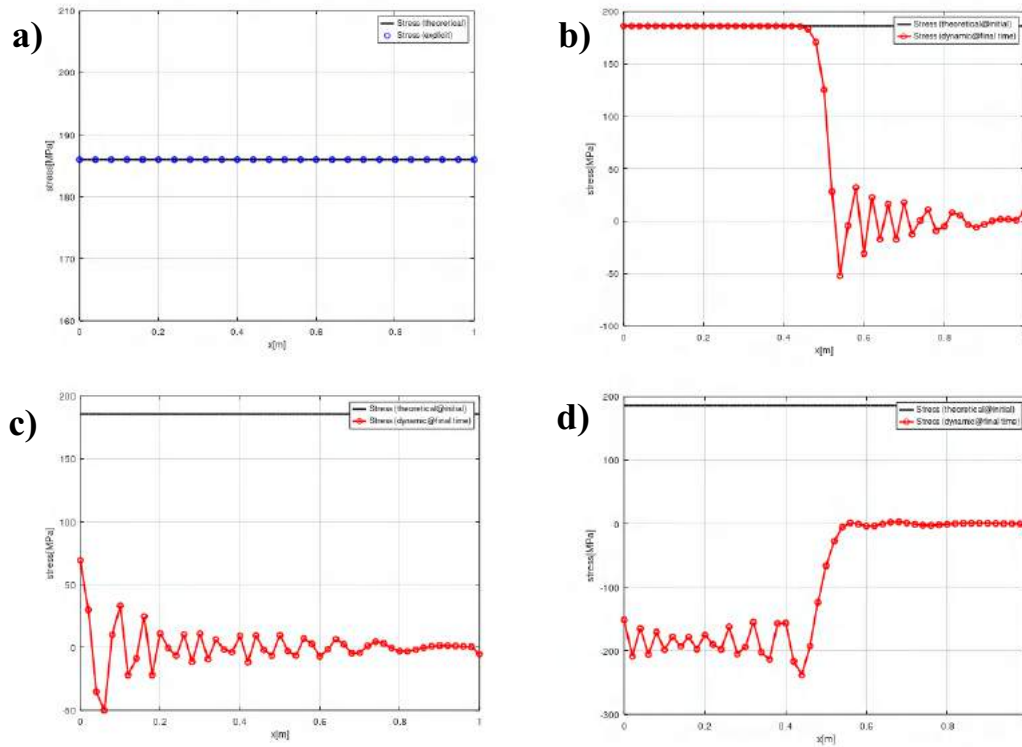


Fig. 7 Dynamic stress distribution in AISI 1020 (CD) steel rod for various values time $u_0 = 1mm$, (a) $t = 0s$, (b) $t = t_r / 2$, (c) $t = t_r$, (d) $t = 3/2t_r$.

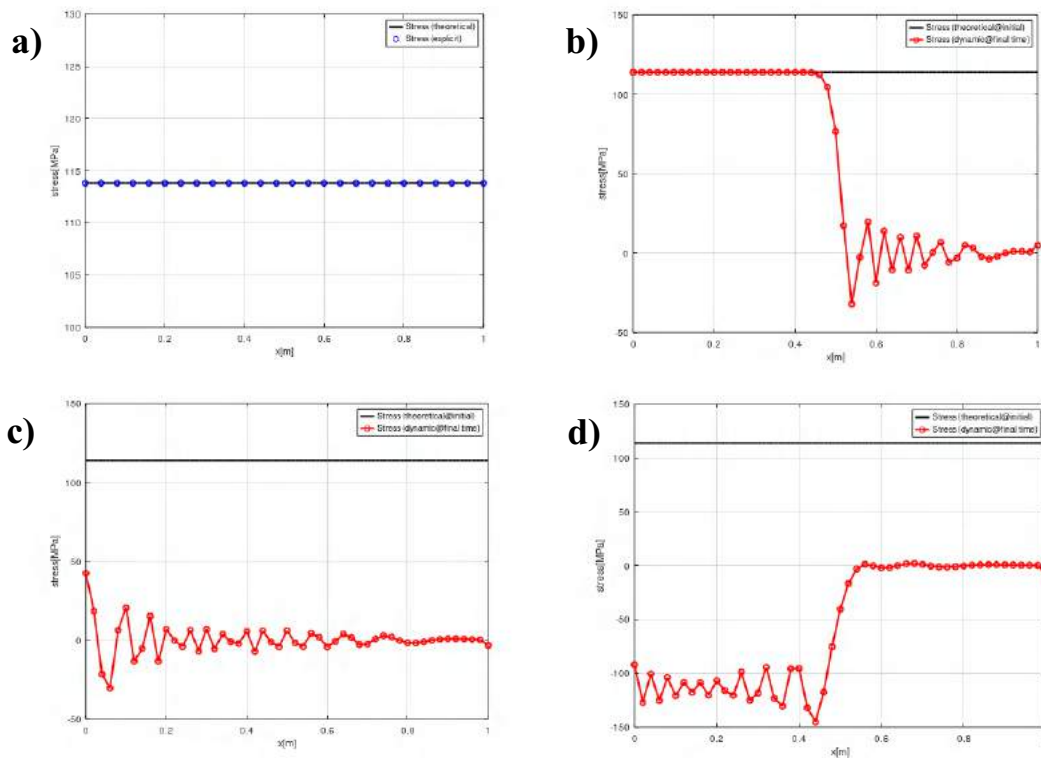


Fig. 8 Dynamic stress distribution in Ti6Al4V (Grade5) rod for various values time $u_0 = 1mm$, (a) $t = 0s$, (b) $t = t_r / 2$, (c) $t = t_r$, (d) $t = 3/2t_r$.

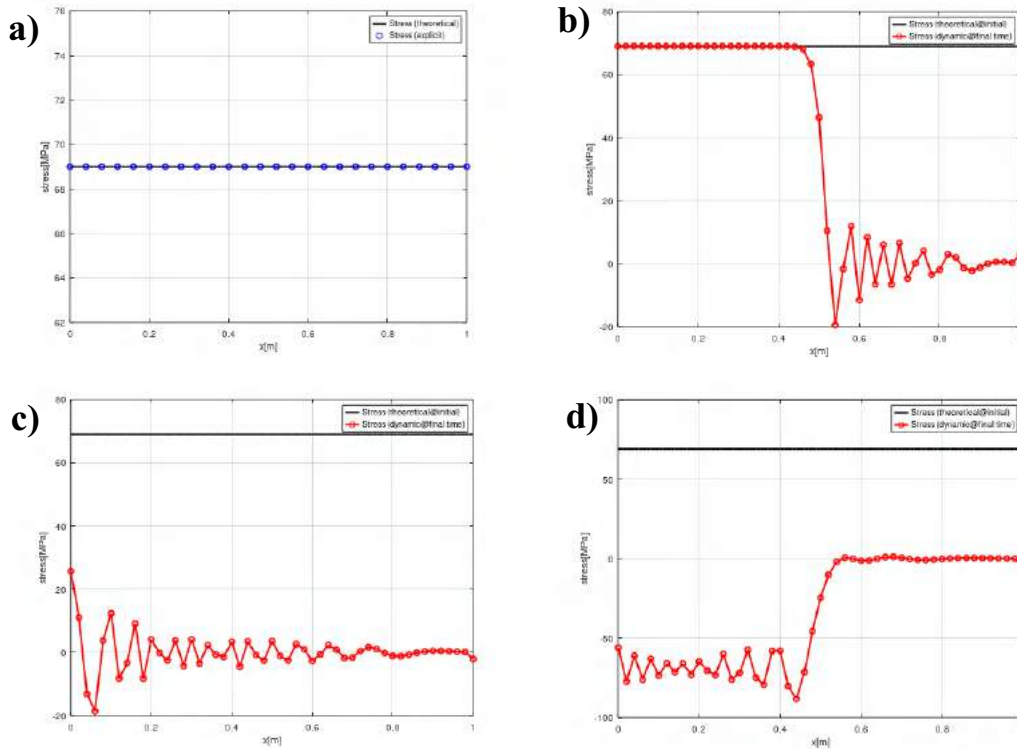


Fig. 9 Dynamic stress distribution in Al6061 Alloy rod for various values time $u_0 = 1mm$, (a) $t = 0s$, (b) $t = t_r / 2$, (c) $t = t_r$, (d) $t = 3/2 t_r$.

4. Discussions

Structural steel AISI 1006 (CD), AISI 1020 (CD), Ti6Al4V and Aluminium alloys such as Al 6061 are widely used in many engineering fields such as mechanical, automotive, aerospace and energy. Therefore, dynamic response of these materials has a considerable importance in mechanical assemblages. Problem is handled considering elastic rod with uniform cross-section made of different materials. Longitudinal wave propagation is modelled using one-dimensional (1D) wave propagation equation. Boundary and initial conditions are determined. In order to find dynamic displacement and stress distribution, wave equation is solved by means of analytical and computational methods. Computational method is developed based on discretization of the PDE with explicit scheme. Analytically and computationally developed results exhibit a very good agreement, which shows accuracy and reliability of the computational method. Then, parametric analyses are carried out to assess the effects of time, level of tip load and material type on dynamic displacement and stress behaviour.

- Wave propagation speed is the minimum for the AISI 1020 (CD) steel while it is maximum for AISI 1006 (CD) steel. Natural frequencies are:

$$\omega_{AISI1020(CD)} < \omega_{Al6061} < \omega_{Ti6Al4V} < \omega_{AISI1006(CD)}$$

- Increase in the initial tip displacement leads to increase in the dynamic stress distribution.
- Before the reflection of the wave at $t = t_r/2$, dynamic stress is positive within $[0, L/2]$, and it is zero in $[L/2, L]$.
- At the reflection time $t = t_r$, stress is zero throughout the rod. Very small rises and drops occur due to the rounding

errors of the computational method. However, it can be acceptable.

- After the reflection of the wave at $t = 3t_r/2$, dynamic stress is negative within $[0, L/2]$, and it is zero in $[L/2, L]$.
- The level of dynamic stress is obtained as:

$$\sigma_{Al6061} < \sigma_{Ti6Al4V} < \sigma_{AISI1020(CD)} < \sigma_{AISI1006(CD)}$$

5. Conclusions

The following main conclusions can be drawn from this study:

- Developed computational method based on explicit scheme is observed fast and reliable in determination of dynamic displacement and stresses distribution within elastic rod made of various materials.
- Analytical solution for wave propagation problems may not easily be found for machine parts with non-uniform cross-section and non-homogenous boundary conditions. Developed computational technique can be used to find dynamic response of machine components made of different materials under various boundary and initial conditions.

References

Inagaki, I., Takechi, T., Shirai, Y., Ariyasu, N. (2014). Application and features of titanium for the aerospace industry. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report, 22-27.

- Boyer, R.R. (1996). An overview on the use of titanium in the aerospace industry. *Materials Science and Engineering: A*, 213(1), 103-114.
- Singh, P., Pungotra, H., Kalsi, N.S. (2017). On the characteristics of titanium alloys for the aircraft applications. *Materials Today Proceedings*, 4(8), 8971-8982.
- Uhlmann, E., Kersting, R., Klein, T.B., Cruz, M.F., Borille, A.V. (2015). Additive manufacturing of titanium alloy for aircraft components. *Proc. CIRP*, 35, 55-60.
- Jeon, G.T., Kim, K.Y., Moon, J-H., Lee, C., Kim, W-J., Kim, S.J. (2018). Effect of Al6061 Alloy Compositions on Mechanical Properties of the Automotive Steering Knuckle Made by Novel Casting Process. *Metals*, 8, Article 857.
- Sharma, M.M., Ziemian, C.W., Eden, T.J. (2011). Fatigue behaviour of SiC particulate reinforced spray-formed 7xxx series al-alloys. *Materials & Design*, 32, 4304-4309.
- Vijayarangan, S., Rajamanickam, N., Sivanant, V. (2013). Evaluation of metal matrix composite to replace spheroidal graphite iron for a critical component, steering knuckle. *Materials & Design*, 43, 532-541.
- Prescott, M.A. (1942). *Elastic Waves and Vibrations of Thin Rods*. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 33(225), 703-754.
- Kolsky, H. (1954). The propagation of longitudinal elastic waves along cylindrical bars. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 45(366), 712-726.
- Hutchinson, J.R. (1972). Axisymmetric vibrations of a free finite length rod. *Journal of the Acoustical Society of America*, 51, 233-240.
- Hutchinson, J.R. (1980). Vibrations of solid cylinders. *Journal of Applied Mechanics*. 47, 901-907.
- Xu, D., Du, J., Liu, Z. (2019). An accurate and efficient series solution for the longitudinal vibration of elastically restrained rods with arbitrarily variable cross sections. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 38(2), 403-414.
- Yang, H., Li, Y., Zhou, F. (2021). Propagation of stress pulses in a Rayleigh-Love elastic rod. *International Journal of Impact Engineering*, 153, Article 103854.
- Cangellaris, A.C. (1993). Numerical Stability and Numerical Dispersion of a Compact 2-D/FDTD Method Used for the Dispersion Analysis of WaveGuides. *IEEE Microwave and Guided Letters*, 3(1), 3-5.
- Matweb. (2021). www.matweb.com. Matweb material property data. Online Accessed: 05/10/2021.



Akımsız Ni-P-W Kompozit Kaplamalarda PTFE Konsantrasyonunun Sertlik ve Aşınma Üzerinde Etkisi

Serdar Aslan^{1*}, Erhan Duru²

^{1*} Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-5061-6338), saslan@sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6205-6566), erhanduru@sakarya.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1016986)

ATIF/REFERENCE: Aslan, S. & Duru, E. (2021). Akımsız Ni-P-W Kompozit Kaplamalarda PTFE Konsantrasyonunun Sertlik ve Aşınma Üzerinde Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1356-1359.

Öz

Bu çalışmada politetrafloroetilen (PTFE) takviyeli Ni-P-W kompozit kaplamalar alkalik bir banyoda akımsız yöntemle üretilmiştir. Kompozit kaplamalar için PTFE konsantrasyonu sırası ile 5, 10 ve 20 g/L seçilmiştir. Üretilen kaplamaların yüzey mikroyapısı Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile kimyasal analizi ise X-Işımları Kırınımı (XRD) yöntemiyle yapılmıştır. Farklı PTFE konsantrasyonları ile üretilen kompozit kaplamaların ortalama mikro sertlik değerleri sırasıyla 513±22 HV, 494±17 HV ve 392±25 HV olarak ölçülmüştür. Oda sıcaklığında kuru ortamda yapılan aşınmalarda en düşük sürtünme katsayısı 0.232 μ ile PTFE konsantrasyonunun 10 g/L olduğu kaplamada görülmüştür. Konsantrasyonun 20 g/L çıkarılmasıyla ortalama sürtünme katsayısında yaklaşık % 60 oranında bir artışla 0.375 μ olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akımsız Kaplama, PTFE, Tungsten, Aşınma, Sertlik.

Effect of PTFE Concentration on Microhardness and Wear Behavior in Ni-P-W-PTFE Composite Coatings by Electroless Deposition

Abstract

In this study, polytetrafluoroethylene (PTFE) reinforced Ni-P-W composite coatings were produced by electroless method in an alkaline bath. For the composite coatings, the PTFE concentration was chosen as 5, 10 and 20 g/L, respectively. The surface microstructure of the produced coatings was made by Scanning Electron Microscope (SEM) and chemical analysis was done by X-Ray Diffraction (XRD) method. The mean microhardness values of the composite coatings produced with different PTFE concentrations were measured as 513±22 HV, 494±17 HV and 392±25 HV, respectively. The lowest coefficient of friction in wear at room temperature was found to be 0.232 μ in the coating with a PTFE concentration of 10 g/L. By increasing the concentration by 20 g/L, the average friction coefficient increased by approximately 60% to 0.375 μ .

Keywords: Electroless Coating, PTFE, Tungsten, Wear, Hardness.

* Sorumlu Yazar: saslan@sakarya.edu.tr

1. Giriş

Son yüzyıldaki teknolojik gelişmeler üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip mühendislik malzemelerin üretiminde büyük gelişmelere yol açmıştır. Ancak malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki bu büyük gelişmeler yine de malzemelerdeki aşınma ve korozyondan kaynaklı kayıpları engelleyememektedir. Günümüzde malzemeleri aşınma ve korozyondan korumak için pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de malzeme yüzeyine kaplama yapmaktır. Kaplama, malzeme ile ortam arasında bir bariyer görevi görerek malzemeyi dış etkenlerden muhafaza etmektedir.

Günümüzde çok fazla kaplama yöntemi bulunmaktadır ancak hem korozyon direnci hem de aşınma dirençlerinin yüksek olmasından dolayı akımsız kaplamalar en popüler kaplamalar arasında yerini almaktadır. Akımsız kaplama yöntemi ilk olarak Brenner ve Ridell'in 1946'daki deneyleri sonucunda ortaya çıkmıştır (Vitry & Delaunois, 2015). Bu yöntemde; dışardan bir elektrik kaynağına ihtiyaç duyulmadan elektrolit içerisindeki Ni iyonları otokatalitik kimyasal indirgenme yöntemi ile malzeme yüzeyinde biriktirilmektedir. (A. Akyol et al., 2018; Czagány et al., 2017). İndirgenme reaksiyonlarının oluşması için gereken akım kaynağı, elektrolite ilave edilen indirgeyici ile sağlanır. Akımsız kaplama yönteminde kullanılan indirgeyici türü aynı zamanda kaplamanın kimyasal içeriğini de belirlemektedir. Nikel kaplamada indirgeyici olarak hidrazin (Haag et al., 2006), Ni-P kaplamada sodyum hipofosfit (Abdülkadir Akyol et al., 2019), Ni-B kaplamada ise dimetilaminoboran (DURU et al., 2021) veya sodyum borhidrür (Sürdem et al., 2019) kullanılır.

Akımsız nikel kaplamaların fiziksel ve kimyasal özelliklerini P, B, Mo, Cu, W vb. elementlerin takviyesi ile geliştirmek mümkündür (Balaraju & Rajam, 2005; FENG et al., 2021; Yıldız et al., 2021). Bunlar arasından P ilavesi yapılan Ni-P kaplamaların yapıdaki amorfluktan kaynaklı korozyon dirençlerinin yüksek olduğu iyi bilinmektedir. Ni-P kaplamaların korozyon direncinin yanında mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için tungsten (W) ilavesi iyi bir tercihtir. Tungstenin yüksek erime noktası, yüksek çekme dayanımı ve yüksek sertlik gibi fiziksel özellikleri akımsız kaplamaların gelişmesine büyük katkı sunmuştur. Bu sayede Ni-P-W kaplamalar yüksek sertliklere, yüksek sıcaklık dayanımlarına ve yüksek termal kararlılıklara sahip olmaktadır. (A. Akyol et al., 2018; Luo et al., 2018). Akımsız yöntem ile elde edilen kaplamaların yüksek korozyon ve aşınma dayanımları gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında karmaşık parçaların dahi homojen kaplanması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi bu yöntemi daha da değerli kılmaktadır. Bu özellikleri sayesinde akımsız kaplamalar otomotivden havacılık endüstrisine, bilgisayardan elektronik parçalara, kimyadan tekstil sanayisine kadar birçok alanda uygulama imkânı bulmaktadır (Matik & Citak, 2011; Vitry & Delaunois, 2015).

Bu çalışmada akımsız kaplama yöntemiyle PTFE (politetrafloroetilen) takviyeli Ni-P-W kompozit kaplamalar üretilmiştir. PTFE'nin katı yağlayıcı özelliği ve kimyasal kararlılığı gibi özellikleri sayesinde Ni-P-W kaplamaların mekanik ve kimyasal kararlılığı da artacaktır. PTFE'nin bu özellikleri sayesinde kendinden yağlayıcı, yapışma önleyici, düşük sürtünme katsayılı, yüksek aşınma ve korozyon dayanımına sahip kompozit kaplamalar üretilmektedir (Ger & Hwang, 2002; Huang et al., 2003;

Ramalho & Miranda, 2005). Bu kaplamalar yüksek aşınma ve korozyon dayanımı gerektiren otomotiv, uzay ve havacılık, matbacılık, elektronik, tekstil ve petrokimya gibi pek çok endüstriyel alanda malzemelerin kullanım ömrünü arttıracaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada altlık malzeme olarak 30×30×5 mm ölçülerinde st 37 çeliği kullanılmıştır. Altlık malzeme, kaplama öncesi sırasıyla 120, 240, 400, 800 ve 1200 kumluk SiC zımpara kâğıtları ile zımparalanmıştır. Zımpara işleminden sonra yüzeydeki yağ ve benzeri kirliliklerden arındırmak için aseton ile durulanmıştır. Son olarak altlık kaplama banyosuna daldırılmadan önce hacimce % 10'luk nitrik asit çözeltisinde dağlanarak yüzey aktif hale getirilmiştir. Kaplama banyosunda nikel iyon kaynağı olarak nikel sülfat, tungsten kaynağı olarak sodyum tungstat, fosfor kaynağı ve indirgeyici olarak sodyum hipofosfit kullanılmıştır. Sodyum sitratın banyodaki görevi kompleks oluşturu, amonyum klorürün reaksiyon hızlandırıcı ve sitrik asidin görevi de kompleks yapıcıdır. Kompozit kaplamalar üç farklı PTFE konsantrasyonu ile üretilmiştir. Kaplama banyosunun bileşenleri ve deney şartları Tablo 1.'de verilmiştir.

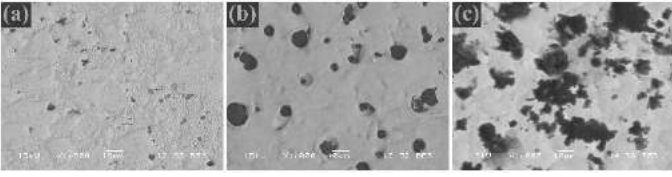
Tablo 1. Kaplama banyosunun kimyasal bileşenleri ve çalışma koşulları.

Banyo Bileşeni	Miktar(g/L)	Şartlar	
Nikel Sülfat	200	Sıcaklık	90 °C
Sodyum Sitrat	15	pH	8,5
Sodyum Tungstat	60	Kar. Hızı	300 rpm
Sodyum Hipofosfit	4.4	Süre	60 dk
Amonyum Klorür	15		
Sitrik Asit	8		
PTFE	5, 10, 20		

Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamaların yüzey morfolojisi Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile görüntülenmiş ve element analizi için Enerji Dağıtıcı Spektroskopisi (EDS) kullanılmıştır. Kompozit kaplamalardaki fazları belirlemek için X-Işını Kırınımı (XRD) yöntemi tercih edilmiştir. XRD analizi 10-80° arasında, 2 °/dk tarama hızında, 1.54 Å dalga boyuna sahip Cu Ka radyasyonu kullanılarak yapılmıştır. Kaplamaların sertlikleri mikrosertlik yöntemlerinden biri olan Vickers sertlik yöntemi ile yapılmıştır. Sertlik ölçümünde 50 gram yük 10 saniye boyunca uygulanarak her numuneden 5 adet sertlik alınmış ve ortalaması hesaplanmıştır. Kompozit kaplamaların aşınma deneyleri oda sıcaklığında ball on disk yöntemi ile yapılmıştır. Aşındırıcı malzeme olarak 10 mm çapında alümina bilya kullanılmıştır. Aşınma için tercih edilen yük 3N, kayma hızı 30 cm/s ve kayma mesafesi 300 metredir. Aşınma sonrası yüzeylerin incelenmesi yine SEM ile yapılmıştır.

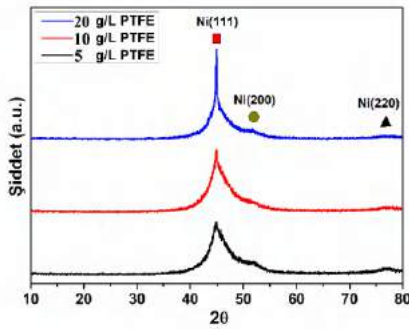
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı konsantrasyonlarda PTFE takviyesi ile üretilen Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamaların yüzey görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü gibi Ni-P-W kaplamalar nodüler yapıda oluşmuştur, şekillerde görülen siyah bölgeler ise PTFE’nin yüzeydeki görüntüsüdür. PTFE konsantrasyonu arttıkça kaplamadaki PTFE miktarı da artmıştır. 5 g/L PTFE konsantrasyonlu kaplamada (Şekil 1(a)) PTFE tozları seyrek bir şekilde yüzeyde dağılmıştır. Toz konsantrasyonu 10 g/L olduğunda yapıdaki PTFE tozları yüzeyde her yere homojen şekilde dağılmış hale gelmiştir (Şekil 1(b)). Ancak PTFE konsantrasyonu 20 g/L çıkarıldığında ise nikel matrisin içerisinde PTFE tozların homojen dağılmadığı, tozların topaklandığı görülmüştür (Şekil 1(c)). Ayrıca matris içerisine giren en fazla PTFE toz miktarı, 10 g/L konsantrasyonda elde edilen kaplamada elde edilmiştir.



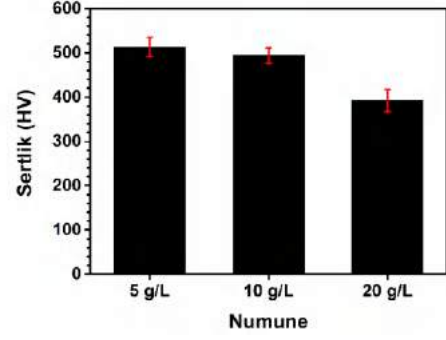
Şekil 1 Farklı konsantrasyonlarda PTFE takviyeli Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamalar: (a) 5 g/L PTFE takviyeli, (b) 10 g/L PTFE takviyeli ve (c) 20 g/L PTFE takviyeli.

Farklı PTFE konsantrasyonlarında üretilen Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamaların XRD analiz sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. XRD piklerine bakıldığında Nikelin (111) düzlemine ait $2\theta = 44^\circ$, (200) düzlemine ait $2\theta = 52^\circ$ ve (220) düzlemine ait $2\theta = 78^\circ$ pikleri görülmektedir. Her üç kaplamada yapı amorf olsa da PTFE miktarının artmasıyla yapıda amorflik miktarı azalmıştır. PTFE tozlarının kaplamada Nikelin büyüme düzlemlerine etkisi olmuştur. Takviye edilen tozlar çekirdekleyici görevi görerek Nikelin (111) düzleminde tercihli yönelmesine sebep olurken (200) ve (220) düzlemlerinin büyümesine engel olduğu görülmüştür (Doğan et al., 2020; Ürdem et al., 2021).



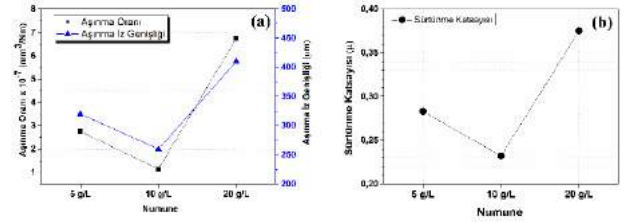
Şekil 2 Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamaların XRD analizi sonucu.

Akımsız kompozit kaplamaların sertlikleri Şekil 3’de verilmiştir. PTFE konsantrasyonu arttıkça kompozit kaplamaların sertliğinde düşüş görülmüştür. 5 g/L, 10 g/L ve 20 g/L PTFE konsantrasyonlu kaplamaların ortalama sertlikleri sırasıyla 513 ± 22 HV, 494 ± 17 HV ve 392 ± 25 HV çıkmıştır. 20 g/L PTFE konsantrasyonlu kaplamada keskin düşüşün olmasının nedeni, kaplama içerisinde tozların topaklanması ve topaklanan tozlar nedeniyle meydana gelen porozite olduğu düşünülmektedir (Gültekin et al., 2021).



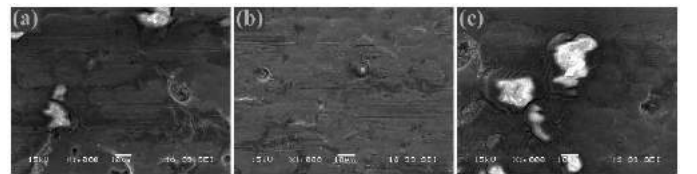
Şekil 3 Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamaların ortalama sertlik sonuçları.

Kompozit kaplamaların aşınma sonrası ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma oranı grafikleri Şekil 4’de verilmiştir. Toz konsantrasyonun 10 g/L olduğu kaplamada ortalama sürtünme katsayısı 0.232μ ile en düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Nikel matrisin içerisine homojen bir şekilde giren PTFE tozlarının katı yağlayıcı özelliği sayesinde kaplamaların sürtünme katsayısı en düşük çıkmıştır. Konsantrasyonun 20 g/L olduğu kaplamada ise tozların topaklanması sonucu 0.375μ ’luk ortalama sürtünme katsayısı ile en yüksek sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Şekil 4(a)’da aşınma oranı ve aşınma iz genişliklerine bakıldığında yine paralel sonuçlar görülmüştür (Uysal et al., 2021).



Şekil 4 Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamaların aşınma oranı (a) ve ortalama sürtünme katsayısı (b) grafikleri.

Şekil 5’de kompozit kaplamaların aşınma sonrası yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. 5 g/L PTFE takviyeli kaplamada yüzeyde çatlaklar ve plastik deformasyon çizgileri meydana gelmiştir (Şekil 5(a)). Burada PTFE miktarı yetersiz kalmış ve kaplama yüzeyinde kısmen de olsa plastik deformasyon meydana geldiği görülmüştür. Şekil 5(b) ise 10 g/L konsantrasyonlu kaplamaların aşınma yüzeyi görülmektedir. Toz konsantrasyonu 10 g/L’ye çıkarıldığında aşınma esnasında tozlar yüzeye sıvanarak yüzeyi aşınmaya karşı koruduğu görülmüştür. PTFE’nin kendinden yağlayıcı özelliği ve tozların yüzeye homojen dağılması sayesinde pürüzsüz ve çatlaksız bir yüzey oluşmuştur. Ancak toz konsantrasyonunun 20 g/L çıkarılmasıyla kaplamada daha yıkıcı bir aşınma mekanizması ortaya çıkmıştır. PTFE tozların topaklanması ve yüzeye homojen dağılması delaminasyonlara yol açmış, aşırı çatlaklı bir yüzeyin oluşmasına yol açmıştır (Aslan & Duru, 2021; DOĞAN et al., 2020; Uysal et al., 2021).



Şekil 5 Farklı konsantrasyonlarda PTFE takviyeli Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamaların aşınma sonrası yüzey SEM görüntüleri: (a) 5 g/L PTFE takviyeli, (b) 10 g/L PTFE takviyeli ve (c) 20 g/L PTFE takviyeli.

4. Sonuç

Ni-P-W-PTFE kompozit kaplamalar başarılı bir şekilde üretilmiştir. Kompozit kaplamalara uygulanan testlerin sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

PTFE konsantrasyonun 10 g/L olduğu kaplamada, PTFE tozları matris içerisinde homojen dağılmıştır. Kaplamalar bu açıdan değerlendirildiğinde en iyi sonuç 10 g/L PTFE konsantrasyonunda görülmüştür.

PTFE konsantrasyonu arttıkça kaplamanın sertliğinde bir düşüş görülmüştür.

Kompozit kaplamalar sürtünme katsayısı ve aşınma oranına göre karşılaştırıldığında en düşük değerler 10 g/L PTFE konsantrasyonlu kaplamada görülmüştür.

5. Teşekkür

Sakarya Üniversitesi Araştırma Geliştirme Merkezine (SARGEM) bize laboratuvar imkanlarını açtığı için teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Akyol, A., Algul, H., Uysal, M., Akbulut, H., & Alp, A. (2018). A novel approach for wear and corrosion resistance in the electroless Ni-P-W alloy with CNFs co-depositions. *Applied Surface Science*, 453(December 2017), 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.05.152>
- Akyol, Abdülkadir, Algül, H., Bilaç, O., Ulu, S., Gül, H., Uysal, M., Çay, Y., & Alp, A. (2019). Elektrolitik Sert Metal Kaplamaya Alternatif Çevreye Duyarlı Ni-P Kaplamaların 6061 Serisi Alüminyum Aıtlık Üzerine Akımsız Yöntemle Biriktirilmesinde Sodyum hipofosfit, Sıcaklık ve Zamanın Etkisi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(3), 442–448. <https://doi.org/10.21541/apjes.478232>
- Aslan, S., & Duru, E. (2021). Microstructure and Wear Properties of Electrodeposited Ni-B-Al₂O₃ Composite Coating on Low Carbon Steel at Elevated Temperature. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Ref 8. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06290-2>
- Balaraju, J. N., & Rajam, K. S. (2005). Electroless deposition of Ni-Cu-P, Ni-W-P and Ni-W-Cu-P alloys. *Surface and Coatings Technology*, 195(2–3), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.068>
- Czagány, M., Baumli, P., & Kaptay, G. (2017). The influence of the phosphorous content and heat treatment on the nano-micro-structure, thickness and micro-hardness of electroless Ni-P coatings on steel. *Applied Surface Science*, 423, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.168>
- Doğan, F., Duru, E., Uysal, M., Akbulut, H., & Aslan, S. (2020). Investigation of mechanical and tribological characteristics of ni-b coatings deposited on steel. *Journal of Boron*, 6(1), 209–215. <https://doi.org/10.30728/boron.762584>
- Doğan, F., Uysal, M., Algül, H., Duru, E., Akbulut, H., & Aslan, S. (2020). Optimization of pulsed electro co-deposition for Ni-B-TiN composites and the variation of tribological and corrosion behaviors. *Surface and Coatings Technology*, 400(June), 126209. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126209>
- Duru, E., Doğan, F., Uysal, M., Akbulut, H., & Aslan, S. (2021). Optimization of Ni-B coating bath and effect of DMAB

- concentration on hardness and wear. *Surfaces and Interfaces*, 22(June 2020), 100880. <https://doi.org/10.1016/j.surf.2020.100880>
- Feng, L., Zhang, Y., Wen, C., Li, S., Li, J., Cheng, D., Bai, J., Cui, Q., & Zhang, L. (2021). Effect of initial deposition behavior on properties of electroless Ni-P coating on ZK60 and ME20 magnesium alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31(8), 2307–2322. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(21\)65656-X](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(21)65656-X)
- Ger, M.-D., & Hwang, B. J. (2002). Effect of surfactants on codeposition of PTFE particles with electroless Ni-P coating. *Materials Chemistry and Physics*, 76(1), 38–45. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(01\)00513-2](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(01)00513-2)
- Gültekin, D., Duru, E., & Akbulut, H. (2021). Improved wear behaviors of lead-free electroless Ni[sbnd]B and Ni-B/CeO₂ composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 422(July). <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127525>
- Haag, S., Burgard, M., & Ernst, B. (2006). Pure nickel coating on a mesoporous alumina membrane: Preparation by electroless plating and characterization. *Surface and Coatings Technology*, 201(6), 2166–2173. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.03.023>
- Huang, Y. S., Zeng, X. T., Annergren, I., & Liu, F. M. (2003). Development of electroless NiP-PTFE-SiC composite coating. *Surface and Coatings Technology*, 167(2–3), 207–211. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00899-X](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00899-X)
- Luo, H., Leitch, M., Zeng, H., & Luo, J.-L. (2018). Characterization of microstructure and properties of electroless duplex Ni-W-P/Ni-P nano-ZrO₂ composite coating. *Materials Today Physics*, 4, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2018.03.001>
- Matik, U., & Citak, R. (2011). *Düşük Fosforlu Akımsız Ni - P Kaplanmış AISI 1020 Çeliğinin Adhesiv A şınma Karakteristikleri nin İncelenmesi*. May.
- Ramalho, A., & Miranda, J. C. (2005). Friction and wear of electroless NiP and NiP+PTFE coatings. *Wear*, 259(7–12), 828–834. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.02.052>
- Sürdem, S., Eseroğlu, C., & Çitak, R. (2019). A parametric study on the relationship between NaBH₄ and tribological properties in the nickel-boron electroless depositions. *Materials Research Express*, 6(12), 125085. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5beb>
- Ürdem, Ş., Duru, E., Algül, H., Uysal, M., & Akbulut, H. (2021). Evaluation of high temperature tribological behavior of electroless deposited NiB-Al₂O₃ coating. *Wear*, 482–483(May), 203960. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203960>
- Uysal, M., Algül, H., Duru, E., Kahraman, Y., Alp, A., & Akbulut, H. (2021). Tribological properties of Ni-W-TiO₂-GO composites produced by ultrasonically-assisted pulse electro co-deposition. *Surface and Coatings Technology*, 410(February), 126942. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.126942>
- Vitry, V., & Delaunois, F. (2015). Nanostructured electroless nickel-boron coatings for wear resistance. In *Anti-Abrasive Nanocoatings* (pp. 157–199). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-211-3.00007-8>
- Yildiz, R. A., Genel, K., & Gulmez, T. (2021). Effect of electroless Ni-B and Ni-W-B coatings on the corrosion-fatigue behaviour of 7075 Al alloy. *International Journal of Fatigue*, 144(July 2020), 106040. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106040>



Investigation of Gain Enhancement in Microstrip Antenna Structure in Pathological Tissue Samples

Rabia Toprak^{1*}, Seyfettin Sinan Gültekin², Dilek Uzer²

^{1*} Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronics Engineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3306-1163), rabiatorp@kmu.edu.tr

² Konya Technical University, Faculty of Engineering and Nature Sciences, Department of Electrical-Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6287-9124, 0000-0003-3850-3810), ssgultekin@ktun.edu.tr, duzer@ktun.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1017064)

ATIF/REFERENCE: Toprak, R., Gültekin, S. S. & Uzer, D. (2021). Investigation of Gain Enhancement in Microstrip Antenna Structure in Pathological Tissue Samples. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1360-1365.

Abstract

Pathological reports play an important role in the diagnosis and especially in the treatment of diseases. For this reason, it is important to be able to access the reports of pathological tissue samples in a short time. Today, depending on the pathologist and the number of samples, the report delivery time can take months. For this reason, microstrip antenna structures, which are frequently used in the biomedical field, are investigated to evaluate pathological tissue samples. In this study, the variation of the gain values of antenna structures depending on the simulation results is examined. FR-4 substrate material, which has a dielectric constant of 4.4, is used in the microstrip antenna structure. The diameters of four circles added to the antenna patch structure with an operating frequency of 2.45 GHz are changed parametrically. The highest gain value of the antenna structure is investigated. The gain value has been increased from 1.89 dB to about 3.5 dB.

Keywords: Pathology, Microstrip, Patch, Gain, HFSS.

Patolojik Doku Örneklerinde Mikroşerit Anten Yapısında Kazanç Artırımının İncelenmesi

Öz

Patolojik raporlar hastalıkların teşhis ve özellikle tedavisinde önemli rol oynamaktadır. Bu sebeple patolojik doku örneklerine ait raporlara kısa sürede erişim sağlayabilmek önem arz etmektedir. Günümüzde patolojik ve numune sayısına bağlı olarak değişen rapor ulaşım süresi ayları bulabilmektedir. Bu sebeple, biyomedikal alanda sıklıkla kullanılan mikroşerit anten yapıları patolojik doku örneklerine ait değerlendirmeleri yapmada araştırılmaktadır. Bu çalışmada anten yapılarına ait kazanç değerlerinin simülasyon sonuçlarına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Mikroşerit anten yapısında 4.4 dielektrik sabiti değerine sahip olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır. 2.45 GHz çalışma frekansı olan anten yapısına eklenen dört adet dairenin çapları parametrik olarak değiştirilmiştir. Anten yapısının en yüksek kazanç değeri araştırılmıştır. Kazanç değeri 1.89 dB'den yaklaşık 3.5 dB değerine yükseltilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patoloji, Mikroşerit, Yama, Kazanç, HFSS.

* Corresponding Author: rabiatorp@kmu.edu.tr

1. Introduction

Pathology is the science of the causes and effects of diseases, especially the branch of medicine that deals with the laboratory examination of samples of body tissue for diagnostic or forensic purposes (Kamel, 2011; Nakhleh, 2006). Pathologists prepare the pathological report results. These results can take months to prepare and reach the patient and the doctor. These periods can sometimes be long for the diagnosis to be made and the treatment to be applied to the patient.

In medical applications, antenna structures are among the growing trends (Baek, Kim, Park, Jeong, & Kim, 2018; Catherwood & Mclaughlin, 2018; Darwish & Hassanien, 2011; R. Das & Yoo, 2018; Garcia-pardo et al., 2018; Ozturk & Güneşer, 2019; Ren, Qing, Zhao, Wang, & Gao, 2018; Schwartz, n.d.; Sun, Muneer, Li, & Zhu, 2018). Especially microstrip patch antenna structures use often in biomedical solutions (Hasan, Shanto, Howlader, & Jahan, 2018; Khan, Razzaq, Iqbal, Qamar, & Zubair, 2018; Li, Guo, Zhang, & Du, 2017; Nesasudha & Fairy, 2018; Sabban, 2013; Top, 2017; Z. J. Yang & Xiao, 2018a). Small dimension, weight, cost and variations of patch structure are some advantages of them. Also ease of use and variations of dielectric substrate materials are other advantages. Low efficiency, low gain and low impedance capability are some disadvantages.

Microstrip patch antennas used in biomedical area need to carry some properties. One of these properties is ‘antenna gain’. In the literature, there are studies to increase antenna gain. In addition, these studies contain several methods to do this. Some methods of it are adding shorting pins in the antenna structure, adding different slot types and making changes on ground layer (Cao et al., 2019; Chen et al., 2020; Feng, Sun, & Leung, 2016; Lesnik, Verhovski, Mizrachi, Milgrom, & Haridim, 2018; Mustacchio, Boccia, Arnieri, & Amendola, 2021; Q. Yang et al., 2011).

In this paper, gain enhancement study of a microstrip antenna operating in the 2.45 GHz radiation region has been carried out. The process of it actualizes by changing the patch area of the antenna structure (S. Das & Mitra, 2018; Feng et al., 2016). The antenna with increased gain has been tested on pathological tissue samples with normal and tumorous skin tissue. To increase the antenna gain, microstrip patch dimensions are modified. To simulate the antenna and system design, ANSYS HFSS is used.

Section 2 explains material and method of the study. Results and Discussion is in Section 3. Finally, Conclusions and Recommendations are in Section 4.

2. Material and Method

2.1. Antenna Structure

Antenna operating frequency is selected 2.45 GHz because of ISM (Industrial, Scientific and Medical) bands. As substrate material is used FR-4 that has 4.4 dielectric constant value. Antenna dimensions are obtained from Equations 2.1 and 2.2 (B. J. Kwaha, O. N. Inyang, 2011). For finding the resonance frequency, lots of simulations are implemented. After simulations, substrate dimension is found 38.3x38.3x1.575 mm³. Proposed antenna patch structure is obtained by combining a concentric circle with a diameter of 28.84 mm and 4 concentric circles with a diameter of 16 mm at the same distance from the center. Figure 1 shows the antenna structure.

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} \quad (2.1)$$

$$F = \frac{8.971 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Where, a is radius of the circular patch, f_r is resonance frequency, ϵ_r is dielectric constant of substrate and h is height of substrate.

Return loss of the proposed antenna is showed in Figure 2.

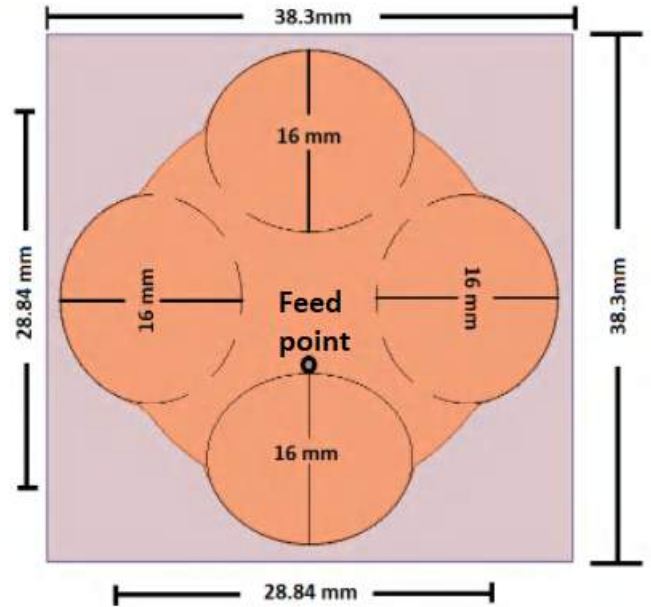


Figure 1. Proposed antenna structure and its dimensions

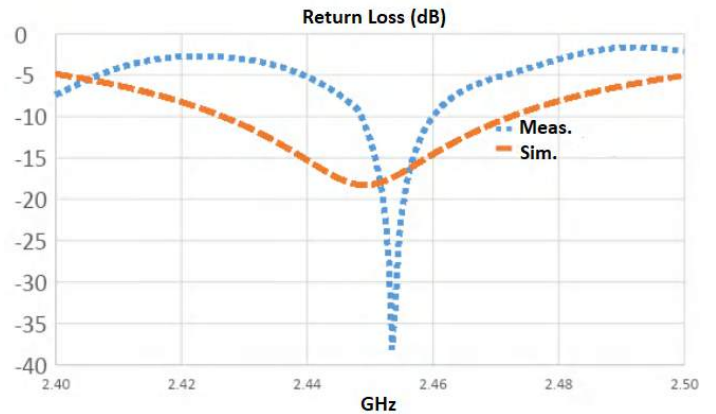


Figure 2. Return Loss of the antenna structure

2.2. Gain Enhancement

In microstrip patch antenna applications, there are several methods to increase antenna gain. Antenna gain depends on directivity and efficiency of the antenna structure (Equation 2.3) (Balanis, 2013). Where, G is gain, η is the efficiency and D is directivity of antenna structure.

$$G = \eta D \quad (2.3)$$

Patch dimension is modified to increase the proposed antenna gain. In the literature, there are many studies about this subject. If explained in detail, the gain of any antenna structure depends on its effective radiating area, A_{eff} . Gain value can be expressed with an identical reference antenna in Equations 2.4 and 2.5 (Guha, Chattopadhyaya, & Siddiqui, 2010).

$$\Delta G [dB] = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{A_{eff}}{\lambda_0^2} \right)_{air}}{\left(\frac{A_{eff}}{\lambda_0^2} \right)_{ref}} \right] \quad (2.4)$$

$$A_{eff} = (L + 2\Delta L)(W + 2\Delta W) \quad (2.5)$$

Where λ_0 is the operating wavelength of the signal, L and W are the length and width of the patch, respectively.

So, patch dimensions of the antenna are important parameters on antenna gain values. In this study, by changing patch dimensions, it is aimed to increase the gain of antenna structure. Figure 3 shows the physical changes on antenna patch. By adding 4 same circles as showed in the Figure 3, the parametric analysis is done in HFSS. The circle radius is from 1.5 mm to 9.5 mm by changing 0.5 mm step.

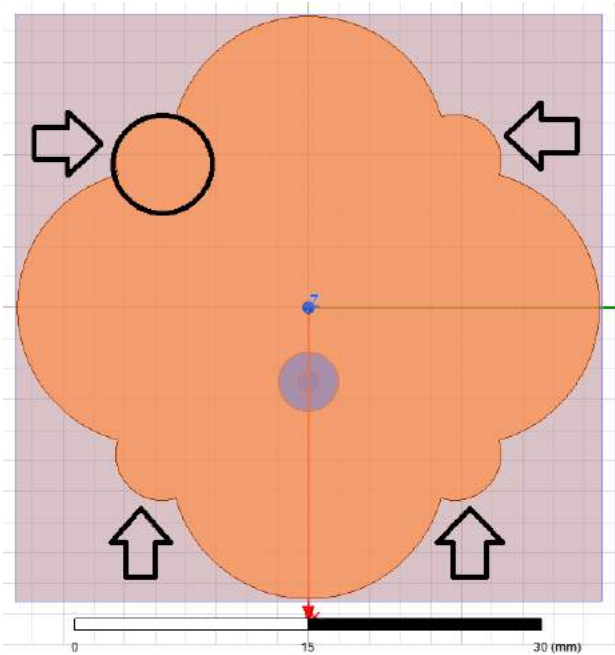


Figure 3. Changes on the patch of the antenna structure

2.3. Modeled System

Pathological tissue samples are modeled as showed in Figure 4. Normal and tumorous skin tissues are introduced in HFSS program. Any body part has different electrical properties like any material. So, normal and tumorous skin tissue have different dielectric constant values. These values are obtained in (Gabriel, 1996). Normal and tumorous skin tissue has the dielectric constant of 38 and 50, respectively. Thus, the modeled system is shown in Figure 4. For simulations, two identical antenna structures are used in the system.

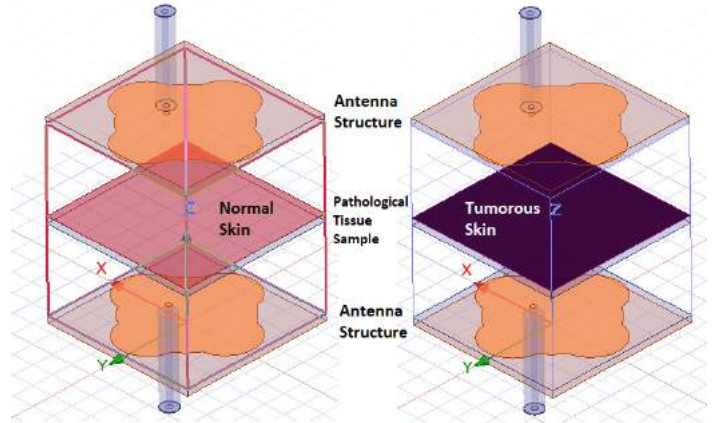


Figure 4. Modeled system

Also, between two antenna structures, there are pathological tissue samples. In the centre there is a glass slide that fixed skin tissue samples. These samples are spread on the glass to cover the entire slide. Height of samples is 5 μm . Normally pathological tissues' heights changes from 2 μm to 5 μm .

3. Results and Discussion

The maximum gain of the antenna structure in Figure 1 is obtained as 1.89 dB from HFSS (Figure 5).

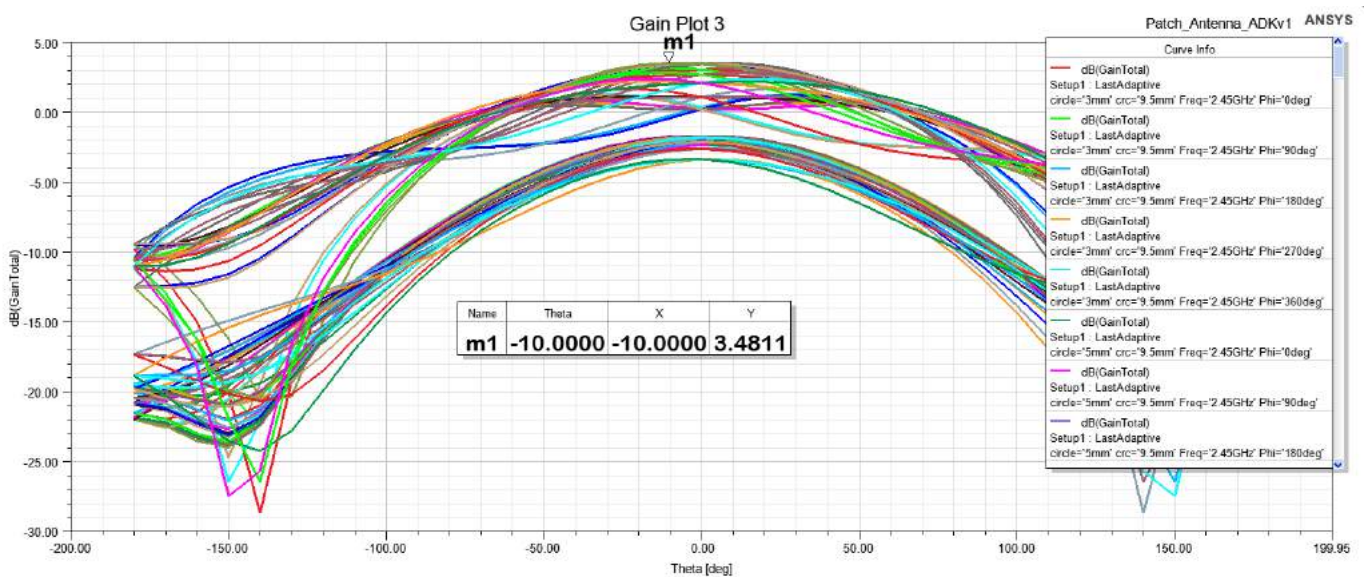


Figure 6. Gain values in dB after parametric analyzes

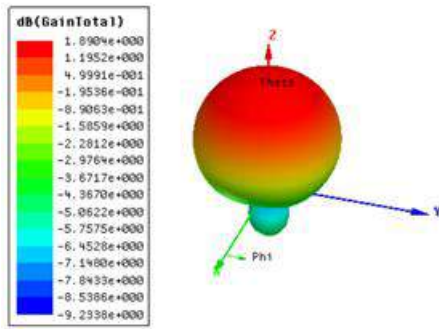


Figure 5. The gain of the antenna in Figure 1

Table 1. The comparison of gain values with reference antennas

References	Dimensions (mm ³)	Gain (dBi)
(Z. J. Yang & Xiao, 2018b)	80	-20.80
(Li et al., 2017)	120.69	-22.70
(Nikolayev et al., 2019)	695	-15
(Marnat, Ouda, Arsalan, Salama, & Shamim, 2012)	-	-16
(Liu, Guo, & Xiao, 2012)	-	-29
(Schmidt et al., 2014)	-	-19.90
Proposed normal antenna	2310.3	1.89
Proposed gain antenna	2310.3	3.48

When analyzes are applied to mention above, the expression of the gain in dB is shown in Figure 6. According to theta angle, while phi angle is changing from 0 degree to 360 degree by 90 degree, gain plot in dB is shown. Maximum gain value is about 3.5 dB in theta = -10° and phi = -90°, when the radii of the circles are 7 mm. The comparison of gain values with the proposed gain antenna and reference antenna structures is in Table 1. Reference antennas are selected to be able to compare as microstrip antennas.

Table 2. The variation of S-parameters with respect to their arithmetic mean

S-parameters	S ₁₁	S ₂₁	S ₁₂	S ₂₂
Skin value of proposed antenna	0.92	32.29	32.20	0.92
Skin value of gain antenna	0.70	33.05	32.97	0.70
Tumorous value of Proposed antenna	0.93	32.41	32.40	0.93
Tumorous value of gained antenna	0.72	34.02	34.00	0.72
Percentage change for gain antenna in skin tissue	75.70	102.33	102.14	75.40
Percentage change for gain antenna in tumorous tissue	77.31	104.90	104.93	77.12

Also, Table 2 explains the variation of S-parameters with respect to their arithmetic mean. That is obtained by taking absolute values for every S-parameter value, S₁₁, S₂₁, S₁₂ and S₂₂. Especially in the antenna applications, these values are important because of giving the radiation information of antenna structure (Caspers, 2011).

When Table 2 is examined, it is reached a different value for each S-parameter. These values matter the success of the gain antenna. While the differences for S₁₁ and S₂₂ values are 0.01 for a normal antenna, this difference is 0.02 for a gain antenna. For S₂₁ and S₁₂, these values are 0.12 and 0.20 for normal antenna, and 0.97 and 1.03 for gain antenna, respectively. When the values of the gain antenna are compared with the values of the normal antenna, it is seen that the differences of the gain antenna are higher.

When the values obtained from the normal antenna are compared for the values obtained from the gain antenna, the percentage of differences for each tissue is shown in the Table 2. As handling the skin tissue, the percentage of difference is about 25% for S₁₁ and S₂₂. It is about 2.5% for S₂₁ and S₁₂. As handling the tumorous skin tissue, the percentage of difference is about 23% for S₁₁ and S₂₂. It is about 5% for S₂₁ and S₁₂.

4. Conclusions and Recommendation

Access to pathological results reports can take months. It is important to access these reports, which are important for the patient and the doctor, in a short time. because it directs the diagnosis and treatment of the patient and the disease. For this purpose, antenna structures that are frequently used in the literature are investigated. One of them is microstrip antenna structures due to its various advantages.

Microstrip patch antennas have low gain. Studies are being done to increase the gain of antenna structure in this area. Some of these studies can be listed as adding a short-circuit pin, modifying the ground layer and opening different slots on the patch.

In this study, it is aimed to increase the gain by changing the pre-designed microstrip patch antenna dimensions. Parametric analysis was carried out with the 4 equal circle structure added to the patch part. As a result of the analysis, the antenna gain increased from 1.89 dB to 3.48 dB with circles with a radius of 7 mm. With this gain antenna, simulations of pathological normal and tumorous skin tissue were made. To do this, a system is modelled that mentioned above. The absolute values of the obtained S-parameters were taken and their arithmetic averages were checked. When the data of the obtained S-parameters are examined, it is shown that the gain antenna reaches a higher difference for each S-parameter value.

For example, for skin tissue, S₁₁ arithmetic mean value is 0.92 of proposed antenna and 0.70 of gain antenna. If the difference is examined as a percentage, it is seen that there is a difference of approximately 25%. Or S₁₂ arithmetic value is 32.20 of proposed antenna and 32.97 of gain antenna. There is a difference of 2.3% for skin tissue. When the differences and percentages are examined, it is possible to say that the use of the gain antenna structure in pathological tissue samples will be beneficial.

Designing microstrip antennas with different gain values with a modeled system will increase the quality and quantity of the study.

5. Acknowledge

This study is supported by Konya Technical University Scientific Research Projects Coordinatorship with project number 211102032.

References

- B. J. Kwaha, O. N. Inyang, P. A. (2011). The circular microstrip patch antenna-design and implementation. *International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS)*, 8(1), 86–95.
- Baek, J. J., Kim, S. W., Park, K. H., Jeong, M. J., & Kim, Y. T. (2018). Design and performance evaluation of 13.56-MHz passive RFID for E-skin sensor application. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 28(12), 1074–1076. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2018.2876764>
- Balanis, C. A. (2013). *Anten teorisi : analiz ve tasarımı*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Cao, Y., Cai, Y., Cao, W., Xi, B., Qian, Z., Wu, T., & Zhu, L. (2019). Broadband and High-Gain Microstrip Patch Antenna Loaded With Parasitic Mushroom-Type Structure. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(7), 1405–1409. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2019.2917909>
- Caspers, F. (2011). RF engineering basic concepts: S-parameters. *CAS 2010 - CERN Accelerator School: RF for Accelerators, Proceedings*, (June), 67–93.
- Catherwood, P. A., & Mclaughlin, J. (2018). *Internet of Things-Enabled Hospital Wards*. (June), 10–18.
- Chen, Y., Wang, S., Shi, S., Ding, J., Jiang, M., Wang, T., & Zhai, G. (2020). Gain Enhancement for Landstorfer Yagi Antenna Using Zero- Index Metamaterials. *2020 IEEE MTT-S International Wireless Symposium, IWS 2020 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/IWS49314.2020.9359970>
- Darwish, A., & Hassanien, A. E. (2011). Wearable and implantable wireless sensor network solutions for healthcare monitoring. *Sensors*, 11(6), 5561–5595. <https://doi.org/10.3390/s110605561>
- Das, R., & Yoo, H. (2018). Application of a Compact Electromagnetic Bandgap Array in a Phone Case for Suppression of Mobile Phone Radiation Exposure. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66(5), 2363–2372. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2017.2786287>
- Das, S., & Mitra, D. (2018). A compact wideband flexible implantable slot antenna design with enhanced gain. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66(8), 4309–4314. <https://doi.org/10.1109/TAP.2018.2836463>
- Feng, L. Y., Sun, Y., & Leung, K. W. (2016). Gain enhanced omnidirectional cylindrical ring dielectric resonator antenna. *2016 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, APSURSI 2016 - Proceedings*, 139–140. <https://doi.org/10.1109/APS.2016.7695778>
- Gabriel, C. (1996). Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies. *Environmental Health, Report No.*(June), 21. <https://doi.org/Report N.AL/OE-TR- 1996-0037>
- Garcia-pardo, C., Andreu, C., Fornes-leal, A., Castelló-palacios, S., Perez-simbor, S., & Barbi, M. (2018). *Ultrawideband Technology for Medical In-Body Sensor Networks*. (june), 19–33. <https://doi.org/10.1109/MAP.2018.2818458>
- Guha, D., Chattopadhyaya, S., & Siddiqui, J. Y. (2010). Estimation of gain enhancement replacing PTFE by air substrate in a microstrip patch antenna. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 52(3), 92–95. <https://doi.org/10.1109/MAP.2010.5586581>
- Hasan, R. R., Shanto, M. A. H., Howlader, S., & Jahan, S. (2018). A novel design and miniaturization of a scalp implantable circular patch antenna at ISM band for biomedical application. *2017 Intelligent Systems Conference, IntelliSys 2017, 2018-Janua*(September), 166–169. <https://doi.org/10.1109/IntelliSys.2017.8324286>
- Kamel, H. M. (2011). *Trends and Challenges in Pathology Practice Choices and necessities*. 11(1), 38–44.
- Khan, Z., Razzaq, A., Iqbal, J., Qamar, A., & Zubair, M. (2018). Double circular ring compact antenna for ultra-wideband applications. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 12(13), 2094–2097. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2018.5245>
- Lesnik, R., Verhovski, N., Mizrachi, I., Milgrom, B., & Haridim, M. (2018). Gain enhancement of a compact implantable dipole for biomedical applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17(10), 1778–1782. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2018.2866233>
- Li, R., Guo, Y. X., Zhang, B., & Du, G. (2017). A Miniaturized Circularly Polarized Implantable Annular-Ring Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 2566–2569. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2734246>
- Liu, C., Guo, Y. X., & Xiao, S. (2012). Compact dual-band antenna for implantable devices. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 1508–1511. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2012.2233705>
- Marnat, L., Ouda, M. H., Arsalan, M., Salama, K., & Shamim, A. (2012). On-chip implantable antennas for wireless power and data transfer in a glaucoma-monitoring SoC. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 1671–1674. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2013.2240253>
- Mustacchio, C., Boccia, L., Arnieri, E., & Amendola, G. (2021). Gain Enhancement Technique for On-Chip Monopole Antenna. *2020 50th European Microwave Conference, EuMC 2020*, 650–653. <https://doi.org/10.23919/EUMC48046.2021.9338160>
- Nakhleh, R. E. (2006, July 1). What is quality in surgical pathology? *Journal of Clinical Pathology*, Vol. 59, pp. 669–672. <https://doi.org/10.1136/jcp.2005.031385>
- Nesasadha, M., & Fairy, J. J. (2018). Low profile antenna design for biomedical applications. *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2017, 2018-Janua*(July), 139–142. <https://doi.org/10.1109/CSPC.2017.8305825>
- Nikolayev, D., Joseph, W., Skrivervik, A., Zhadobov, M., Martens, L., & Sauleau, R. (2019). Dielectric-Loaded Conformal Microstrip Antennas for Versatile In-Body Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(12), 2686–2690. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2019.2948814>
- Ozturk, T., & Güneşer, M. T. (2019). Measurement Methods and Extraction Techniques to Obtain the Dielectric Properties of Materials. In *Electrical and Electronic Properties of Materials* (pp. 1–27). <https://doi.org/10.5772/intechopen.80276>
- Ren, A., Qing, M., Zhao, N. A. N., Wang, M., & Gao, G. E. (2018). *Nano-Ferrite Near-Field Microwave Imaging for In-Body Applications*. 6, 29551–29557.
- Sabban, A. (2013). New wideband printed antennas for medical applications. *IEEE Transactions on Antennas and*

- Propagation*, 61(1), 84–91.
<https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2214993>
- Schmidt, C., Casado, F., Arriola, A., Ortego, I., Bradley, P. D., & Valderas, D. (2014). Broadband UHF implanted 3-D conformal antenna design and characterization for in-off body wireless links. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62(3), 1433–1444.
<https://doi.org/10.1109/TAP.2013.2295816>
- Schwartz, R. (n.d.). *Measurement of Dielectric Material Properties Application Note Products*.
- Sun, G., Muneer, B., Li, Y., & Zhu, Q. (2018). Ultracompact Implantable Design with Integrated Wireless Power Transfer and RF Transmission Capabilities. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 12(2), 281–291. <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2017.2787649>
- Top, R. (2017). *A transmitter microstrip antenna design and application towards the detection of heart disease parameters*. Selcuk University.
- Yang, Q., Zhang, X., Wang, N., Bai, X., Li, J., & Zhao, X. (2011). Cavity-backed circularly polarized self-phased four-loop antenna for gain enhancement. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 59(2), 685–688.
<https://doi.org/10.1109/TAP.2010.2096395>
- Yang, Z. J., & Xiao, S. (2018a). A wideband implantable antenna for 2.4 GHz ISM band biomedical application. *2018 IEEE International Workshop on Antenna Technology, IWAT2018 - Proceedings*, 1–3.
<https://doi.org/10.1109/IWAT.2018.8379168>
- Yang, Z. J., & Xiao, S. (2018b). A wideband implantable antenna for 2.4 GHz ISM band biomedical application. *2018 IEEE International Workshop on Antenna Technology, IWAT2018 - Proceedings*, 1–3.
<https://doi.org/10.1109/IWAT.2018.8379168>



Investigation of Normalization Values of S-Parameters in Microstrip Antenna Structure in Pathological Tissue Samples

Rabia Toprak^{1*}, Seyfettin Sinan Gültekin², Dilek Uzer²

^{1*} Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronics Engineering, Karaman, Turkey, (ORCID: 0000-0002-3306-1163), rabiatorp@kmu.edu.tr

² Konya Technical University, Faculty of Engineering and Nature Sciences, Department of Electrical-Electronics Engineering, Konya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6287-9124, 0000-0003-3850-3810), ssgultekin@ktun.edu.tr, duzer@ktun.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1017084)

ATIF/REFERENCE: Toprak, R., Gültekin, S. S. & Uzer, D. (2021). Investigation of Normalization Values of Microstrip Antenna Structure and S-Parameters in Pathological Tissue Samples. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1366-1371.

Abstract

Studies on the examination of pathological tissue samples with antennas have begun to be developed. In this study, normalization studies performed using a microstrip antenna structure with increased gain are presented. FR-4 substrate with a dielectric constant of 4.4 is preferred in the antenna structure used in the normalization studies. In pathological tissue samples, samples of normal and cancerous skin tissue are modeled in HFSS and simulated. The differences in the normalized S-parameters as a result of the simulations are shown in the tables. While the normal skin tissue normalization value at S_{11} is 13.4, the value for the tumor skin tissue sample is 18.0. For other S-parameters, different values are obtained for normal and cancerous skin tissue. The differences in the values reveal the success of the proposed antenna structure.

Keywords: Pathology, Microstrip, Patch, Normalization, HFSS.

Patolojik Doku Örneklerinde Mikroşerit Anten Yapısında S-Parametrelerine Ait Normalizasyon Değerlerinin İncelenmesi

Öz

Patolojik doku örneklerinin antenlerle incelenmelerine ait çalışmalar geliştirilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada kazancı artırılmış bir mikroşerit anten yapısı kullanılarak gerçekleştirilen normalizasyon çalışmaları sunulmaktadır. Normalizasyon çalışmalarında kullanılan anten yapısında 4.4 dielektrik sabiti değerine sahip FR-4 taban tercih edilmiştir. Patolojik doku örneklerinde normal ve kanserli deri dokusuna ait numuneler HFSS'de modellenerek simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda normalize edilen S-parametrelerindeki farklılıklar tablolar ile gösterilmiştir. S_{11} değerindeki normal deri dokusu normalizasyon değeri 13.4 iken, tümörlü deri dokusu örneğine ait değer 18.0 olarak bulunmuştur. Diğer S-parametreleri için de normal ve kanserli deri dokusu için farklı değerler elde edilmiştir. Değerlerdeki farklılıklar tasarlanan anten yapısının başarısını ortaya koyaktadır.

Anahtar Kelimeler: Patoloji, Mikroşerit, Yama, Normalizasyon, HFSS.

* Corresponding Author: rabiatorp@kmu.edu.tr

1. Introduction

Pathology is derived from the ancient Greek term 'pathos' meaning disease and is used to mean the scientific study of diseases. In a broader sense, pathology examines the causes of diseases, the way they affect tissues and organs, especially the morphological (formal, visual) features of diseased tissues and organs. In this sense, pathology forms the basis of medicine. Pathology; It provides an easier understanding of diseases by adding the abnormal appearance of diseased organs with the naked eye or under the microscope to the knowledge learned in anatomy and physiology. In areas where appearances are very helpful in decision making, the contribution of pathological examination to the diagnosis and determination of the appropriate treatment method is also very great. Today, pathological examination is necessary and obligatory for the definitive diagnosis of many diseases, especially the diagnosis of tumors (Kamel, 2011; Nakhleh, 2006; Patterson, 2014).

A pathologist tries to diagnose diseases by examining samples taken in various forms from tissues and organs that are thought to be diseased. The routinely used method for this is microscopic examination. Most of the pathologist's time is spent examining tissues with the naked eye and microscope and preparing reports for these examinations. The tissue of the organ removed from the body is placed in a fixing fluid called formal. 2-5 μm of this liquid is cut and placed on the surface of the slide for microscopic examination. The dimensions of the slide are 26x76x1 mm^3 . The tissue fixed to the slide is covered with paraffin blocks and stored for the evaluation part (Patterson, 2014). The evaluation period is important for the patient and doctor waiting for the report result. Sometimes it can take months to reach the pathological results reports. For this reason, various studies are included in order to shorten this period.

Antenna applications in biomedical area are gained acceleration (Caccami, Hogan, Alfredsson, Marrocco, & Batchelor, 2018; Chow, Ouyang, Beier, Chappell, & Irazoqui, 2009; Hong, Choi, Magill, Shah, & Felder, 2018; Lin, Chen, & Yen, 2018; Meredov, Klionovski, & Shamim, 2019). Especially microstrip patch antenna structure is one of the most researched topics in the medical applications because of several advantages (Hasan, Shanto, Howlader, & Jahan, 2018; Lane, Biondi, JS Pleva - US Patent 5, & 1995, n.d.; Mak, C.L. and Luk, K.M. and Lee, K.F. and Chow, 2000; Nalam, Rani, & Mohan, 2014; Singh & Tripathi, 2011; Top, 2017). These are low-profile, cost, small dimensions, ease of design and weight. Low gain, efficiency and impedance matching are some disadvantages of microstrip patch antenna types (Dey & Mitra, 1996; Lane et al., n.d.).

Microstrip patch antenna structures have been started to be investigated in order to detect pathological tissue samples. It is aimed to shorten the access time to reports by using antenna structures. Thus, it will be possible to access the pathological results reports in a short time, especially for life-threatening patients.

In this study, microstrip patch antenna with previously increased gain from 1.89 dB to 3.50 dB was used. The antenna structure was simulated and tested on the modeled system. The modeled system includes pathological tissue samples placed equidistantly between two identical antenna structures. The electrical values of normal and cancerous skin tissue were introduced to ANSYS HFSS program and simulations were made.

S-parameter values were obtained as a result of simulations. The differences between normal and cancerous skin tissue were shown by normalization from these values. Normalization in electronics is the comparison of a value to a reference. In other words, it is keeping the data within its limits without changing the relationship between the variables. It is a characterization method used for electrical and electronic based systems in the literature (Alexander, Klavuts, Klavuts, & Khayrullina, 2016; Jin et al., 2016).

Section 2 explains the Material and Method part. Results and Discussions are in Section 3. Finally, Conclusion part is in Section 4.

2. Material and Method

2.1. Antenna Structure

Antenna operating frequency is selected 2.45 GHz because of ISM (Industrial, Scientific and Medical) bands. As substrate material is used FR-4 that has 4.4 dielectric constant value. Antenna dimensions are obtained from Equations 2.1 and 2.2 (B. J. Kwaha, O. N. Inyang, 2011). For finding the resonance frequency, lots of simulations are implemented. After simulations, substrate dimension is found 38.3x38.3x1.575 mm^3 . Proposed antenna patch structure is obtained by combining a concentric circle with a diameter of 28.84 mm and 4 concentric circles with a diameter of 16 mm and 4 concentric circles with a diameter of 14 mm at the same distance from the center. Figure 1 shows the antenna structure. Return loss of the proposed antenna is showed in Figure 2. Gain graph is in Figure 3.

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} \quad (2.1)$$

$$F = \frac{8.971 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Where, a is radius of the circular patch, f_r is resonance frequency, ϵ_r is dielectric constant of substrate and h is height of substrate.

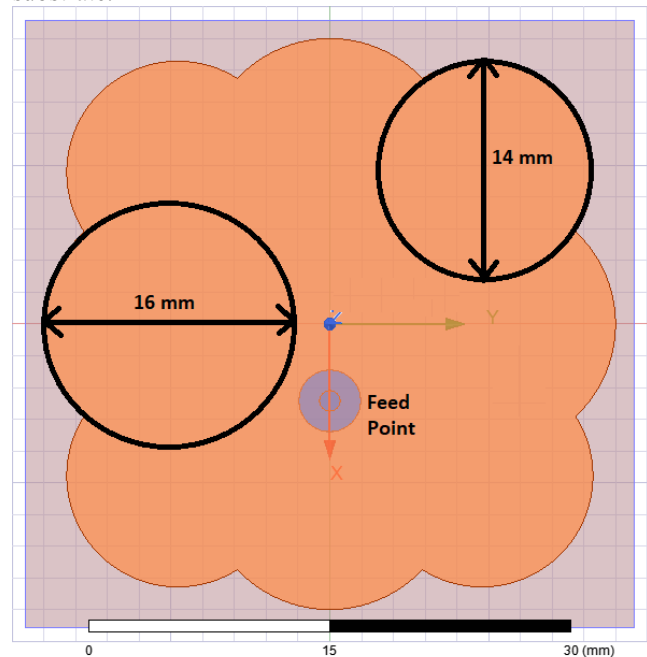


Figure 1. Proposed antenna structure and its dimensions

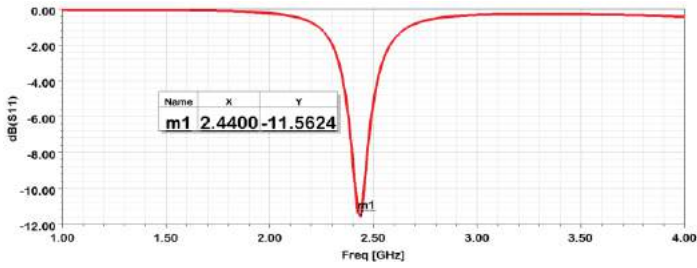


Figure 2. Return Loss of the antenna structure

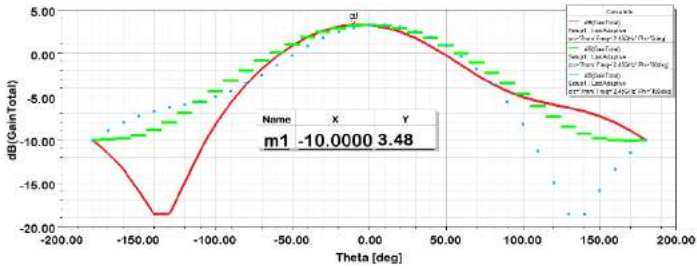


Figure 3. Gain value of the antenna structure

2.2. Modeled System

Each tissue part of the human body part has a different electrical value. These values align permittivity, permeability and conductivity. In the literature, there is a study to measure the electrical properties of body part (Gabriel, 1996). So, the electrical properties of body part (Gabriel, 1996). So, the electrical values of normal and cancerous skin tissue are introduced to the HFSS program. Normal skin dielectric constant is 38, while cancerous skin dielectric constant value is 50.

Modeled system is shown in Figure 4. For simulations, two identical antenna structures at equal distance of 25 mm are used in the system. 25 mm is used because of far-field region (Equation 2.3) (Balanis, 2013). Also, between two antenna structures, there are pathological tissue samples. In the center, there is a glass slide (26x76x1 mm³) that fixed skin tissue samples. These samples are spread on the glass to cover the entire slide. Height of samples is 5 μm.

$$r > \frac{2d^2}{\lambda} \quad (2.3)$$

Where r is the far field distance, d is the maximum linear dimension of the antenna and λ is the operating wavelength. The reason for choosing the far field is that the operations take place at the free space impedance (Bansal, 1999).

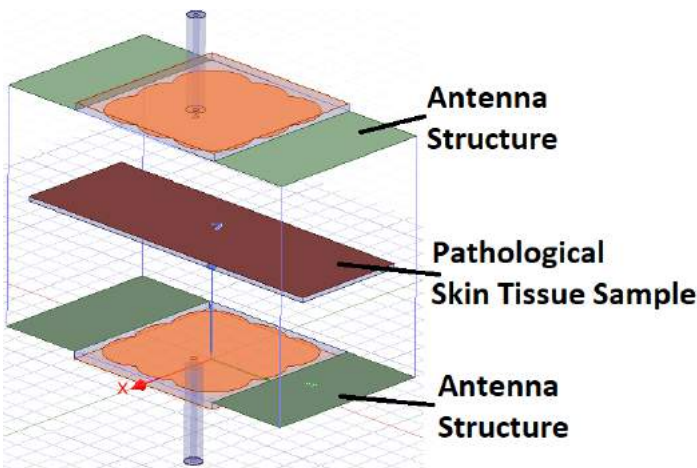


Figure 4. Modeled system structure

2.3. Normalization Definition

The principle of normalization is to compare variables with each other. Normalization is done differently depending on the level of measurement of the variables, and is intimately related to the uniqueness properties of the measurement level (Aguinis et al., 2019).

In this work, it is aimed to obtain differences from S-parameters, S_{11} , S_{21} , S_{12} and S_{22} . These parameters are important to explain the radiation values of the antenna structure (Caspers, 2011). They express the return loss and transmission loss of the antenna structure. Here, as shown in Figure 4, firstly while there is no glass slide, simulations are done and saved. Then while there is only empty glass slide, simulations are done and saved. These data are S-parameters (Alhuwaidi et al., 2015; Ghodgaonkar, Varadan, & Varadan, 1989). each value is divided by the value in the same state as it (Figure 5). Equation 2.4 explains this situation.

$$\frac{(S_{ij})_{empty\ glass\ slide}}{(S_{ij})_{air}} \quad i, j = 1, 2, \dots \quad (2.4)$$

Where S_{ij} expresses the value of S-parameters (for $i, j=1, 2$). This ratio uses to obtain the differences of both normal skin and cancerous skin tissue. Then while there is normal skin tissue on glass slide, simulations are done and saved. Afterwards, the same process is performed in cancerous skin tissue. The value obtained for both tissue types is divided by the above ratio. Equations 2.5 and 2.6 explain that (Figure 6).

$$\frac{(S_{ij})_{normal\ skin\ tissue}}{(S_{ij})_{empty\ glass\ slide}} \quad i, j = 1, 2, \dots \quad (2.5)$$

$$\frac{(S_{ij})_{cancerous\ skin\ tissue}}{(S_{ij})_{empty\ glass\ slide}} \quad i, j = 1, 2, \dots \quad (2.6)$$

For normal and cancerous skin tissues, obtained values compare with each other and the differences are evaluated.

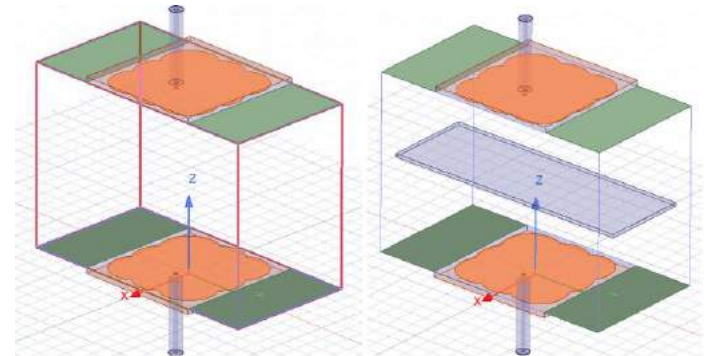


Figure 5. Modeled system for normalizations with empty and glass slide

3. Results and Discussion

Firstly, obtained values are in dB. So, these are converted to the unitless values. Then the proportions are made.

The graphs given in between Figure 7 and Figure 10 show the normalization graphs of the normal and cancerous skin tissue of the S-parameters. When Figure 7 is examined, it is seen that the normalization differences are maximum at S_{11} values, especially at 8.6 GHz. Here, the value obtained for the skin tissue is 13.4, while the value of the cancerous tissue is 18.0.

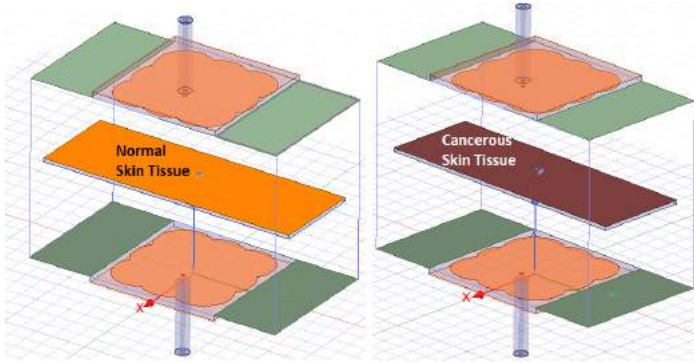


Figure 6. Modeled system for normalizations with normal and cancerous skin tissue

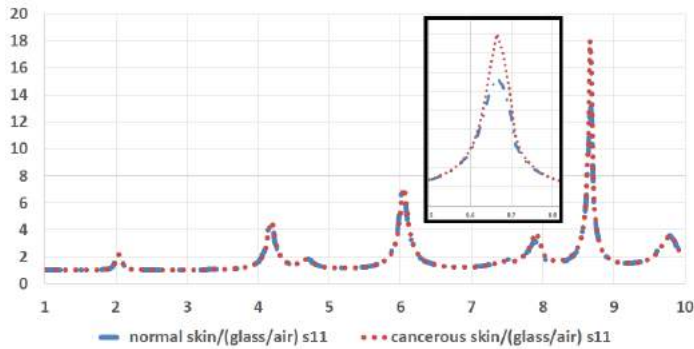


Figure 7. Normalization graph for S_{11} values

When Figure 8 is examined, it is seen that the difference between S_{21} values and 4.6 GHz is maximum. While the normalization value of skin tissue is 750, the value of cancerous tissue is 560.

In Figure 9, the S_{12} values, again at 4.6 GHz frequency values, are 561 for the skin, while the value obtained from the maximum normalization is 461 for the cancerous skin tissue.

When Figure 10 is examined, S_{22} values, while the maximum value for skin tissue is 33.5 in the 8.6 GHz region, this value is 24.9 for cancerous tissue.

In Figure 11, the differences of normalization values obtained from normal and cancerous skin tissues vary according to frequency. Here, the difference graph using the equation of the data (normal skin-cancerous skin) shown in Figures 7-10 is shown. The importance of this graph (Figure 11) is very important in terms of showing the difference sizes. At 4.6 GHz, the skin-tumor difference is 557.3 maximum for S_{21} , while the maximum difference value for S_{12} is 446.0.

When the size of the difference between normal and cancerous skin tissue from the obtained S-parameter values is examined, it is possible to interpret as follows:

- Difference and change rates in the 4.6 GHz region are especially important for S_{21} and S_{12} values. This frequency region is ideal for differential detection.
- The 8.6 GHz frequency region is important in processing the values given by the transmitting and receiving antennas. The band where the reflection coefficients are effective is in this range.
- In particular, the difference region of the S_{21} value, which gives the transmission coefficient, is located around the 4.6 GHz band. The magnitude data of the difference value, which can be

clearly seen in Figure 8, will play an active role in the future of the researches.

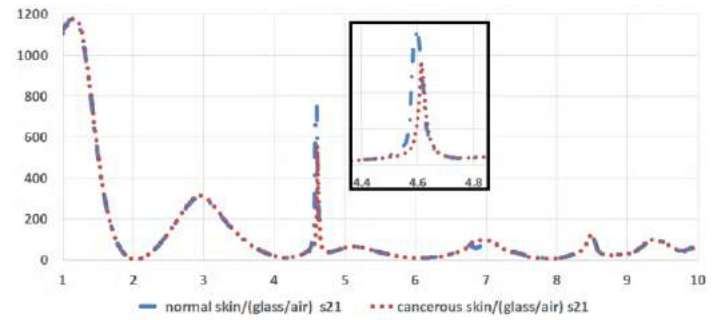


Figure 8. Normalization graph for S_{21} values

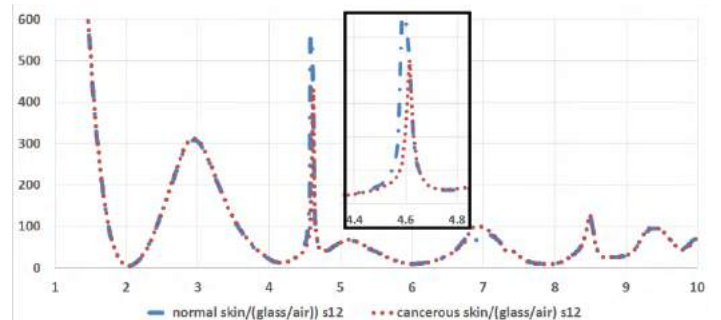


Figure 9. Normalization graph for S_{12} values

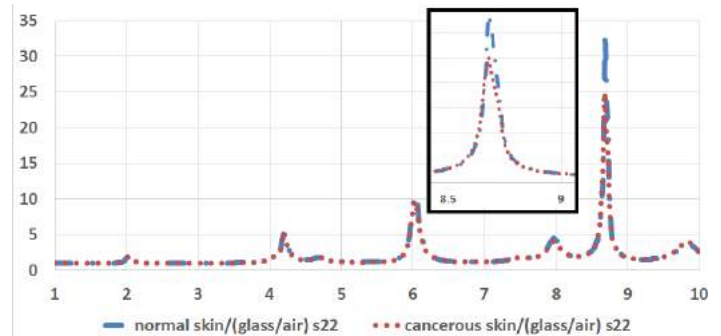


Figure 10. Normalization graph for S_{22} values

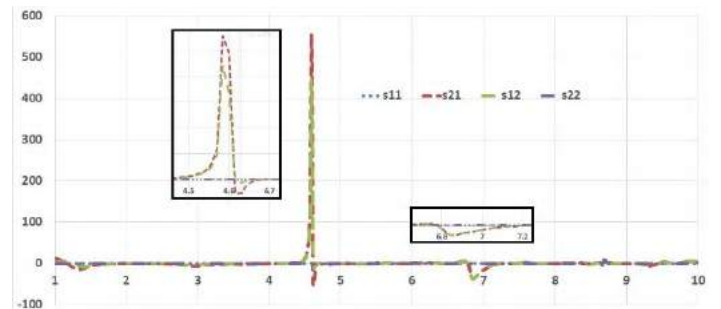


Figure 11. Comparison graph of the differences of the data of the S-parameters (normal skin-cancerous skin)

4. Conclusion

Pathology, the branch of science that examines the data of the tissues, contains important information about the patient and the disease with its prepared reports. Reaching these reports can sometimes take months, depending on the number of patients and samples.

Microstrip patch antenna designs were investigated in order to shorten the time to reach the reports for the patient and the doctor. These antenna structures are frequently used in the literature. An antenna structure with a gain of about 3.5 dB relative to a microstrip patch was chosen.

On the other hand, the difference between normal and cancerous skin tissue was shown by normalization on the S-parameters containing the radiation information of the antennas. For example, when S_{11} normalization values were examined, 13.4 was obtained for normal skin tissue and 18.0 for cancerous skin tissue. S_{21} , which is especially important because it contains transmission information, is 750 for normal skin tissue and 560 for cancerous skin tissue. In systems where antennas are used, these differences aim to provide report information to doctors in a short time, especially for patients with vital importance. When the graphs and values are examined, the success of the antenna structures and the selected antenna structure for the modeled study is shown.

5. Acknowledge

This study is supported by Konya Technical University Scientific Research Projects Coordinatorship with project number 211102032.

References

Aguinis, H., Bailey, J. R., Borgatti, S. P., Boyd, B., DeJordy, R., DeSimone, J. A., ... Schurer Lambert, L. (2019). Recommendations for Improved Methods and Analysis in Management Research. *Academy of Management Proceedings*, 2019(1), 17367. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2019.17367SYMPOSIUM>

Alexander, G., Klavuts, I. L., Klavuts, D. A., & Khayrullina, M. V. (2016). AC voltage normalization - Conception and technology for smart grid system. *Proceedings - 2016 51st International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2016*, 2017-Janua, 1-5. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2016.8114115>

Alhuwaidi, S., Zubair, K., Song, H., Shellman, Y., Robinson, W., & Robinson, S. (2015). Disease diagnostics of biological tissues using free-space technique in terahertz frequency range. *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference: Engineering for Healthy Minds and Able Bodies, BioCAS 2015* - *Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/BioCAS.2015.7348378>

B. J. Kwaha, O. N. Inyang, P. A. (2011). The circular microstrip patch antenna-design and implementation. *International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS)*, 8(1), 86-95.

Balanis, C. A. (2013). *Anten teorisi : analiz ve tasarim*. Nobel Akademik Yayıncılık.

Bansal, R. (1999). The far-field: How far is far enough? *Applied Microwave and Wireless*, 11(11), 58-60.

Caccami, M. C., Hogan, M. P., Alfredsson, M., Marrocco, G., & Batchelor, J. C. (2018). A Tightly Integrated Multilayer Battery Antenna for RFID Epidermal Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66(2), 609-617. <https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2780899>

Caspers, F. (2011). RF engineering basic concepts: S-parameters. *CAS 2010 - CERN Accelerator School: RF for Accelerators, Proceedings*, (June), 67-93.

Chow, E. Y., Ouyang, Y., Beier, B., Chappell, W. J., & Irazoqui, P. P. (2009). Evaluation of cardiovascular stents as antennas for implantable wireless applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 57(10), 2523-2532. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2029954>

Dey, S., & Mittra, R. (1996). Compact microstrip patch antenna. *Microwave and Optical Technology Letters*, 13(1), 12-14. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-2760\(199609\)13:1<12::aid-mop4>3.0.co;2-q](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-2760(199609)13:1<12::aid-mop4>3.0.co;2-q)

Gabriel, C. (1996). Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies. *Environmental Health, Report No.*(June), 21. <https://doi.org/Report.N.AL/OE-TR-1996-0037>

Ghodgaonkar, D. K., Varadan, V. V., & Varadan, V. K. (1989). A Free-Space Method for Measurement of Dielectric Constants and Loss Tangents at Microwave Frequencies. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 38(3), 789-793. <https://doi.org/10.1109/19.32194>

Hasan, R. R., Shanto, M. A. H., Howlader, S., & Jahan, S. (2018). A novel design and miniaturization of a scalp implantable circular patch antenna at ISM band for biomedical application. *2017 Intelligent Systems Conference, IntelliSys 2017*, 2018-Janua(September), 166-169. <https://doi.org/10.1109/IntelliSys.2017.8324286>

Hong, S. M., Choi, C. H., Magill, A. W., Shah, N. J., & Felder, J. (2018). Design of a Quadrature 1H/31P Coil Using Bent Dipole Antenna and Four-Channel Loop at 3T MRI. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 37(12), 2613-2618. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2844462>

Jin, H. S., Choi, B. H., Kang, J. K., Kim, S. I., Lim, J. H., & Song, S. Y. (2016). Measurement and Normalization Methods to Provide Detailed Information on Energy Consumption by Usage in Apartment Buildings. *Energy Procedia*, 96(October), 881-894. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.161>

Kamel, H. M. (2011). *Trends and Challenges in Pathology Practice Choices and necessities*. 11(1), 38-44.

Lane, J., Biondi, J., JS Pleva - US Patent 5, 400,040, & 1995, undefined. (n.d.). Microstrip patch antenna. In *Google Patents*. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US5400040A/en>

Lin, J. Y., Chen, H. C., & Yen, M. Y. (2018). Sensor/Antenna Interface IC for Implantable Biomedical Monitoring System. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66(3), 1660-1667. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2017.2755647>

Mak, C.L. and Luk, K.M. and Lee, K.F. and Chow, Y. . (2000). Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 48, 777-783.

Meredov, A., Klionovski, K., & Shamim, A. (2019). Screen-Printed, Flexible, Parasitic Beam-Switching Millimeter-Wave Antenna Array for Wearable Applications. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, 1, 2-10. <https://doi.org/10.1109/OJAP.2019.2955507>

Nakhleh, R. E. (2006, July 1). What is quality in surgical pathology? *Journal of Clinical Pathology*, Vol. 59, pp. 669-672. <https://doi.org/10.1136/jcp.2005.031385>

Nalam, M., Rani, N., & Mohan, A. (2014). Biomedical Application of Microstrip Patch Antenna. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)*, 2(6), 6-8.

Patterson, J. (2014). *Weedon's Skin Pathology E-Book* (Fourth).

Retrieved from
https://www.google.com/books?hl=tr&lr=&id=Y-LTBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=patterson+2014+p athology&ots=U3wha_QPa1&sig=0fYB8PC-f3bX5-UQ0robmQaUhFY

- Singh, I., & Tripathi, V. S. (2011). Micro strip Patch Antenna and its Applications: a Survey. In *Article in International Journal of Computer Applications in Technology*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/232318276>
- Top, R. (2017). *A transmitter microstrip antenna design and application towards the detection of heart disease parameters*. Selcuk University.



Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Polimer Bazlı Membranlarla İlgili Son Gelişmeler

Sema Tuğçe Baykara^{1*}

^{1*} Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2273-7930), Tugcebaykara97@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1017497)

ATIF/REFERENCE: Baykara, S. T. (2021). Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Polimer Bazlı Membranlarla İlgili Son Gelişmeler. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1372-1383.

Öz

Fosil yakıtların gelecekteki enerji ihtiyacını karşılayamayacak olması ve canlıların yaşamını sürdürebilmesi için hayati öneme sahip su kaynaklarını kirlenmesi, günümüzde enerji gereksinimi ve su kirliliği gibi iki büyük probleme sebep olmaktadır. Yakıt hücrelerinin özel bir sınıfı olan Mikrobiyal Yakıt Hücresi (MYH) sistemleri, atık su arıtımı yaparak yeşil enerji sağladıkları ve fosil yakıtlara olan ihtiyacı azalttıkları için günümüzde üzerinde en fazla çalışma gerçekleştirilen teknolojilerden biridir. Bu cihazlardaki verim, büyük ölçüde MYH sistemlerinin önemli bileşeni olan membranlara ve özelliklerine bağlıdır. MYH sistemlerinde en fazla tercih edilen membran, 80°C'ye kadar yüksek verime sahip Dupont firması tarafından üretilen Nafyon ticari membranıdır. Nafyon membran, pahalı ve MYH sistemlerinin performansını düşürecek kısıtlara sahip olduğundan araştırmacılar, Nafyon'a alternatif olabilecek yüksek verim ve uygun fiyatlı membran sentezi üzerine yoğunlaşmışlardır. Polimer malzemeler; uygun fiyatları ve kolay işlenebilirlikleri ile en fazla tercih edilen membran malzemeleridir. Bu derleme makalesinde son yıllarda gerçekleştirilen polimer bazlı kompozit, blend, Nafyon modifiye ve son yıllarda daha yüksek verim getireceği düşünüldüğü için çalışmaların yoğunlaştığı bipolar (çift kutuplu) membranlar incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda MYH sistemlerinin ticarileşmesi açısından umut vadeden sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mikrobiyal Yakıt Hücresi, Polimer Membran, Kompozit Membran, Blend Membran, Nafyon Modifiye Membran, Bipolar Membran.

Recent Development of Polymer Based Membranes in Microbial Fuel Cells

Abstract

Since fossil fuels cannot provide the energy needs of the future and that they pollute the water resources that are vital for the survival of living things cause two major problems today; energy scarcity and water pollution. Microbial Fuel Cell (MFC) systems, which are a special class of fuel cells, are one of the most studied technologies today, as they provide green energy by treating wastewater and reduce the need for fossil fuels. The efficiency of these devices is highly dependent on the types and the properties of the membranes, which are important components of MFC systems. The most widely used membrane in MFC systems is the Nafion commercial membrane produced by Dupont, which has high efficiency of up to 80 °C. Since Nafion membrane is expensive and has some limitations that will reduce the performance of MFC systems, researchers focused on high efficiency and affordable membrane synthesis, which can be an alternative to Nafion. Polymer materials are the most preferred membrane materials with their reasonable prices and easy workability. In this review article, polymer-based composite, blend, Nafion modified, and bipolar membranes, which have been focused on because it is thought to bring higher efficiency in recent years, have been examined. It has been seen that promising results for the commercialization of MFC systems were obtained in investigated studies.

Keywords: Microbial Fuel Cell, Polymer Membrane, Composite Membrane, Blend Membrane, Nafion Modified Membrane, Bipolar Membrane

* Corresponding Author: Tugcebaykara97@gmail.com

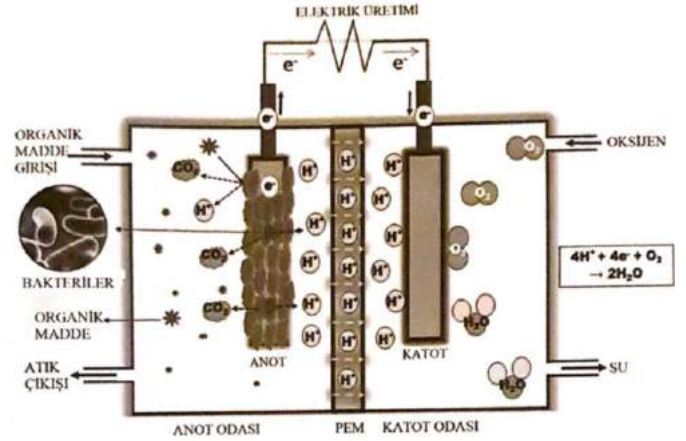
1. Giriş

Fosil yakıtlar, geçtiğimiz yüzyılda ülkelerin sanayileşmesini ve ekonomisini desteklese de artan petrol talebinin bundan 10-20 yıl sonrasında karşılanamayacağı (kömür için bu değer yaklaşık 80-100 yıl, doğalgaz için ise yaklaşık 100-120 yıldır) ve fosil yakıt tüketiminin mevcut hızla devam ettiği varsayılırsa havadaki CO₂ derişiminin gelecek yüzyılın ortalarında 600 ppm'e (2000 yılındaki değerden yaklaşık 200 ppm fazla) kadar çıkacağı tahminlerine dayanarak fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve yerine alternatif/yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmaya başlanması gerekmektedir (Durmuş Kaya, 2012; Kadioğlu, 2008; *Yakıt Pili Katalizörleri*, 2019).

Hidrojen, düşük karbonlu gelecekte önemli bir rol oynayan; elektriğin depolanmasında kolaylık sağlayan fosil yakıt bağımlılığını azaltan ve ulaşım, ısı, elektrik, sanayi gibi sektörlerde kullanılabilecek sıfır karbonlu bir enerji taşıyıcısı olarak görülmektedir. Bu avantajları göz önünde bulundurduğunda hidrojen, son yıllarda ticarileşmesi için üzerine çalışmaların yoğunlaştırıldığı, yakıtların kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren, yan ürün olarak sadece su buharı ortaya çıkaran çevre dostu yakıt hücresi (YH) teknolojisinde tercih edilen bir yakıt türüdür. YH'de yakıt olarak hidrojen kullanılabildiği gibi; fosil yakıtlar, amonyak ve metanol gibi kimyasal ürünler ve biyogaz gibi alternatif kaynaklar da kullanılabilmektedir; ancak hidrojen yakıt pilleri ile birlikte kullanıldığında sıfır emisyon sağlamaktadır (Kadioğlu, 2008; Staffell et al., 2019).

YH'leri; anot, katot ve elektrolit tabakası olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Sınıflandırılmaları; tercih edilen elektrolit tabakası, yakıt türü ve işletme sıcaklıklarına göre değişmektedir. YH'ler genel olarak kullandıkları elektrolit tabakası türüne göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmaya göre; Alkalın YH, Proton Değişim (Polimer Elektrolit) Membran YH, Fosforik Asit YH, Erimiş Karbonat YH ve Katı Oksit YH olmak üzere beş ana başlık altında incelenmektedirler (Barbir, 2013; Nurettin Çek, 2020).

Bir biyoelektrokimyasal sistem olan biyoyakıt hücreleri de YH'nin bir alt sınıfı olup enzimatik yakıt hücreleri ve mikrobiyal yakıt hücreleri (MYH) olmak üzere iki başlık altında incelenmektedirler. MYH sistemleri, mikroorganizma veya enzimatik kataliz kullanan biyoelektrokimyasal tepkimeler yoluyla kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen biyoelektrokimyasal cihazlardır (Şek. 1). MYH'lerin ana özelliği, bakterilerin katalizör olarak kullanılmasıdır. MYH'ler sadece elektrik üretmekle kalmaz, aynı zamanda atık suda bulunan organik kirleticilerin mikroorganizmaların tarafından parçalanması ile evsel/endüstriyel atık suları arıtır. MYH'ler, çevreyi kirletmeden atık arıtımı yaptıkları ve mikroorganizmaların katalitik aktivitesi sonucu ortaya çıkan elektronlar ile (Şek. 1) eş zamanlı olarak elektrik enerjisi ürettikleri için son yıllarda umut vadeden bir teknoloji olarak popülerlik kazanmışlardır (Barbir, 2013; J. M. Kim & Patel, 2020; Nurettin Çek, 2020; Pandit, Savla, & Jung, 2020).



Şekil 1. Mikrobiyal yakıt hücresi gösterimi (Nurettin Çek, 2020)

MYH'lerde elektrolit olarak membranlar tercih edilmektedir. Difüzyon direncinin daha az olması nedeniyle membransız MYH'ler giderek daha yaygın kullanılsa da günümüzde çalışmalar daha çok katot bölmesinin içeriğini anot bölgesi içeriğinden ayırmak için membran kullanılan iki bölmeli membranlı sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. MYH sistemlerinde membran olarak; iyon değişim membranları (İDM) gözenekli membranlar ve seramik membranlar tercih edilmektedir. İDM'ler; kation değişim membranı (KDM), proton değişim membranı (PEM), anyon değişim membranı (ADM) ve bipolar membran (BPM) olmak üzere dört ana başlık altında incelenmektedir. KDM'ler tüm kationların geçişine izin verirken PEM sadece protonların membrandan geçişine izin vermektedir. ADM'ler ise anyonların membrandan geçişine izin veren ve nadiren MYH sistemlerinde tercih edilen bir membran tipidir. Tercih edilen membranların; yüksek iyonik iletkenlik, yüksek mekanik ve kimyasal kararlılık sergilemesi, elektronik olarak iletken olmaması, oksidan, yakıt ve substrat geçişine izin vermemesi, kabul edilebilir maliyette ve çevre dostu olması beklenmektedir. MYH sistemlerinde en yaygın kullanılan membran Dupont firması tarafından üretilen 80°C'ye kadar yüksek verime sahip Nafyon ticari membranıdır. Nafyon membranın; yüksek maliyeti, kısa devre kayıpları, pH dengesizliği ve protonlardan daha fazla kation taşınması gibi bazı kısıtları araştırmacıları daha ekonomik ve yüksek verimli membran sentezi yönünde çalışmalar yapmaya itmiştir (Dharmalingam, Kugarajah, & Sugumar, 2019; Shabani et al., 2020).

Nafyona alternatif malzeme olarak MYH sistemlerinde, son yıllarda en fazla çalışma gerçekleştirilen polimer membran malzemeleri; sülfolanmış polieter eter keton (SPEEK), polieter sülfon (PES), polibenzimidazol (PBI), polivinilidin florür (PVDF), polivinil alkol (PVA), polisülfon (PS) gibi polimerlerdir. PEEK polimeri; poliarieter keton (PAEK) grubuna ait, ekonomik, iyi termal kararlılık ve mekanik özellikte olan çevre dostu bir polimerdir (Wu et al., 2018), (Azhar et al., 2021) Sülfonasyon işlemi ile sağladığı avantajlar artırılabilir. SPEEK, MYH sistemlerinde son yıllarda üzerine en fazla çalışma gerçekleştirilen ve Nafyon membrana güçlü bir alternatif olarak görülen bir membran malzemesi olarak çalışmalara konu olmaktadır.

Hazırlanan bu bildiriye, MYH sistemlerinde, son yıllarda gerçekleştirilen Nafyon membrana alternatif olabilecek polimer bazlı kompozit, blend membran çalışmaları ve

Nafyon'un dezavantajlı özelliklerini iyileştirmek üzere yapılan Nafyon modifiye membran çalışmaları derlenmiştir. Ayrıca bildiride, son yıllarda araştırmacılar tarafından üzerinde durulan ve MYH sistemleri için verimli olacağı düşünülen bipolar (çift kutuplu) membran çalışmalarına da değinilmiştir. Hazırlanan bu derlemenin MYH sistemlerinde gerçekleştirilecek membran çalışmalarını destekleyici nitelikte olması amaçlanmıştır.

2. Polimer Bazlı Kompozit Membranlar

Son yıllarda çalışılan ve MYH sisteminde test edilen polimer bazlı kompozit membranlar ve çalışmalardaki önemli çıktılar Tablo 1'de verilmiştir. Gerçekleştirilen polimer kompozit membran çalışmaları, bu bölümde; SPEEK, PES ve diğer polimer bazlı kompozit membranlar olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir.

2.1. SPEEK Bazlı Kompozit Membranlar

SPEEK polimeri, son yıllarda MYH sistemlerinde en çok kullanılan kompozit membran malzemesidir. Membranın özelliklerini iyileştirmek ve MYH sistemlerindeki performansını artırmak için çeşitli inorganik (metal oksit, kil, silika, heteropoli asit, karbon bazlı malzeme vb.) (Harun, Shaari, & Nik Zaiman, 2021) veya polimer malzemelerle kompoz oluşturarak kullanılmaktadırlar.

SPEEK sülfonasyon derecesi membran performansı için oldukça önemli bir parametredir; çünkü SPEEK'nin sülfonasyonu membranın proton iletkenliğini ve içindeki artan boşluklar sebebiyle su tutma kapasitesini artıracak gibi mekanik özelliklerini de zayıflatabilmektedir. Optimize edilmiş sülfonasyon derecesine sahip bir SPEEK membranının, ticari Nafyon 117 membranına alternatif olabilecek performansa sahip olduğu araştırmacılarca görülmüştür (Ghasemi, Daud, Alam, Ilbeygi, et al., 2016; Ghasemi, Daud, Alam, Jafari, et al., 2016; Harun et al., 2021). Sülfonasyon derecesinin önemini vurgulayan Mostafa Ghasemi ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada (Ghasemi, Daud, Alam, Ilbeygi, et al., 2016), SPEEK düşük (%29) ve yüksek (%76) sülfonasyon derecelerinde polisülfon (PS) polimeri ile ağırlıkça %3/%97 oranında kompozit oluşturmuş ve tuzlu suyun arıtılmasında kullanılmıştır. %76 sülfonasyon derecesi en iyi su arıtımını gerçekleştirmiş ve en yüksek güç yoğunluğunda daha yüksek akım yoğunluğu sergilemiştir. Seçiciliğin, %76 sülfonasyon derecesinde %29'a kıyasla 3 kat daha iyi olduğu ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gideriminin %99'a ulaştığı gözlemlenmiştir (Tablo 1). Ayrıca yapıya eklenen SPEEK polimerinin; kolombik verimi, KOİ giderimini, güç yoğunluğunu ve seçiciliği önemli ölçüde artırdığı saf PS membranı ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda görülmüştür.

Silikotungstik asit (STA) yapıya katıldığında iyi proton iletkenliği sağlayan bir heteropoli asittir. Bu asit grubu, önemli ölçüde su ile çevrilidir ve bu da onların susuz ortamlarda da kullanımını kolaylaştırmaktadır (Harun et al., 2021). Prabhu Narayanaswamy Venkatesan ve ark., %50 sülfonasyon derecesine sahip SPEEK polimerine yüksek proton iletkenliği için ağırlıkça farklı oranlarda (%2,5, %5, %7,5 ve %10) STA ilavesi ile bir kompozit membran sentezlemişlerdir (Venkatesan & Dharmalingam, 2017). Çalışma sonucunda, %10 STA içeriğinin, kompozit membranda kümeler arası bazı boşluklar bırakarak proton transferine olan direncin artmasına sebep olduğu görülmüştür. Bu sebeple, %7,5 STA içeriğine

sahip SPEEK membranı en iyi performansı göstermiştir. Bu membranın su tutma kapasitesi Nafyon 117 membranı ile aynı değerde (%22) olup oksijen geçişinin ise Nafyon'dan bir derece daha az olduğu gözlemlenerek diğer bileşimlerdeki membranlara ve ticari Nafyon 117'ye kıyasla en yüksek güç yoğunluğunu gösterdiği görülmüştür (Tablo 1).

Vaidhegi Kugarajah ve ark., benzer sülfonasyon derecesine (%50,2) sahip SPEEK ve ağırlıkça farklı oranlarda (%2,5, %5, %7,5 ve %10) sülfolanmış polihedral oligomerik silseskioksan (S-POSS) inorganik malzemesi ile nanokompozit bir membran elde etmişlerdir (Kugarajah & Dharmalingam, 2020b). POSS'ye uygulanan sülfonasyon işleminin, POSS'taki doğal hidroksit iyonlarına ek olarak daha iyi proton iletkenliği ve su tutma kapasitesi gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada, ağırlıkça %5 S-POSS içeren membranın, en yüksek iyon değişim kapasitesi ile en yüksek güç yoğunluğu sergilediği görülmüştür (Tablo 1).

Vaidhegi Kugarajah ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir başka SPEEK bazlı kompozit membran çalışmasında ise (Kugarajah & Dharmalingam, 2020a) sülfolanmış titanyum nanotüp (S-TNT) inorganik malzemesi kullanılmıştır. Ağırlıkça farklı oranlarda (%2,5, %5, %7,5 ve %10) S-TNT malzemesinin eklenmesi ile saf SPEEK'ye göre membranların daha yüksek su tutma kapasitesi ve daha iyi proton iletkenliği gösterdiği gözlemlenmiştir. MYH performans eğrileri, en iyi sonucun SPEEK+%7,5 S-TNT membranı tarafından sergilendiğini göstermiştir (Tablo 1). Dolgu maddesinin %10 içerikte dolgu paracıklarında topaklanmaya sebep olduğu ve bunun proton iletkenliğinde azalmaya yol açtığı görülmüştür. Ayrıca çalışmada; S-TNT, ağırlıkça %7,5 sülfolanmış titanyumdioksit (S-TiO₂) içeren SPEEK kompoziti ile de karşılaştırılmış ve sonucunda S-TNT içerikli SPEEK'nin, daha iyi proton iletkenliği, iyon değişim kapasitesi (İDK), su tutma kapasitesi (STK) ve daha düşük iç direnç gösterdiği görülmüştür. Bu çalışma, MYH'nin performansının iyileştirilmesi için sülfonasyon uygulanmış inorganik nano-dolgu maddeleri katkılı membranların iyi bir seçenek olduğunu göstermiştir.

Oksijen, karbon ve hidrojen atomlarını içeren grafen oksit (GO); zayıf elektronik ve güçlü proton iletkenliğine, düşük maliyete, etkili mekanik, termal özelliklere ve geniş yüzey alanına sahip bir malzemedir (Harun et al., 2021), (Mondal, Papiya, Ash, & Kundu, 2021). Kien Ben Liew ve ark., YH membranlarında istenilen özelliğe sahip bu malzeme ile %80'lik sülfonasyon derecesine sahip SPEEK bazlı bir kompozit membran elde etmişlerdir (Liew et al., 2020). Çalışmada, gümüş GO (AgGO) ve GO ayrı ayrı ve birlikte SPEEK'ye eklenerek kullanılmış ve elde edilen kompozit membranlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar; AgGO-GO-SPEEK membranın, Nafyon 117 membranından %54,2 daha yüksek proton iletkenliği, %76,7 daha düşük oksijen difüzyon katsayısı ve ayırıcı olarak daha yüksek seçicilik sağladığını göstermiştir (Tablo 1). GO-SPEEK membranı, AgGO-GO-SPEEK'den daha yüksek STK, kolombik verim (KV) ve yakın KOİ giderimi gösterdiği ancak yaklaşık 100 günlük performansında, AgGO-GO-SPEEK membranın en düşük iç direnci ve en yüksek güç yoğunluğunu sergilediği görülmüştür.

2.2. PES Bazlı Kompozit Membranlar

PES polimerinin, MYH sistemlerinde çevre dostu, basit ve ekonomik inorganik (Fe₃O₄ ve SiO₂ gibi) manyetik

parçacıklarla kompoz oluşturarak kullanımının güç yoğunluğu açısından standart Nafyon 117 ticari membranından daha iyi performans gösterdiği hem geçmiş hem de son yıllarda yapılan çalışmalarca gözlemlenmiştir (Bavasso et al., 2021; Bavasso et al., 2020; Di Palma et al., 2018; Rahimnejad et al., 2012). Bu çalışmalardan birinde, Luca Di Palma ve ark. (Di Palma et al., 2018), manyetik nanoparçacıkların PES bazlı membranlardaki etkisini ölçmek için ağırlıkça farklı oranlarda (%5 ve %20) Fe_3O_4 manyetik nanoparçacığı içeren PES nanokompozit membranı, eriyik ekstrüzyon (melt extrusion) yöntemi ile sentezlenerek MYH sistemlerinde test etmiştir. Sentezlenen nanokompozit membranlar, ticari membranlara kıyasla daha iyi termal kararlılık ve mekanik özellikler sergilemişlerdir. Artan Fe_3O_4 içeriğinin ticari membranlarla (Nafyon 117 ve CMI-7000) yakın elektrokimyasal performanslarda bir iyileşme gösterdiği gözlemlenmiştir (Tablo 1). Bununla birlikte, %20'nin üzerinde bir artış, oksijen transfer katsayısının artması nedeniyle anodik odadaki anaerobik koşul sağlanamadığından MYH'nin çalışmasını engelleyebilecek özellik gösterebildiği görülmüştür. Irene Bavasso ve ark. tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmada (Bavasso et al., 2020) ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10 ve %20) Fe_3O_4 nano partiküllü ön işlemde geçirilerek (de-iyonize suda 1 saat kaynatma ardından sülfirik asite 1 saat daldırma) eriyik harmanlama ve ekstrüzyon (melt belnding and extrusion) yöntemi ile PES bazlı kompozit membranı sentezlenmiştir. Yapılan bu ön işlem MYH sistemlerinin elektrokimyasal performansına katkı sağlamış ve en iyi sonucu %10 Fe_3O_4 içerikli membranın verdiği görülmüştür (Tablo 1). Irene Bavasso ve ark., başka benzer bir çalışmada (Bavasso et al., 2021), ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10 ve %20) sülfonatlı nano- Fe_3O_4 ($Fe_3O_4-SO_3H$) parçacığını aynı yöntemle elde edilen PES bazlı kompozit membran çalışmasında kullanmışlardır. Eklenen SO_3H gruplarının nanopartiküllerin daha iyi dağılmasına izin verdiği ve katodik bölmeden oksijen geçişini engellediği gözlemlenmiştir. Elde edilen membranlardan en iyi sonucu ağırlıkça %10 $Fe_3O_4-SO_3H$ içeren PES membranının verdiği görülmüş ve en yüksek güç ve akım yoğunluklarının, Nafyon 117'ye kıyasla sırasıyla %270 ve %117 arttığı gözlemlenmiştir (Tablo 1). Bu çalışmalar sonucunda da Fe_3O_4 nanoparçacığının ve kullanılan eriyik karıştırma yönteminin MYH performansını ve endüstriyel uygulanabilirliğini artırmak için umut vadeden potansiyelde olduğu ulaşılmıştır.

Sülfolanmış PES (SPES) kullanılan bir başka çalışmada Harsha Nagar ve ark. (Nagar & Aniya, 2020), inorganik zeolit 4A dolgu malzemesi ile birleştirilmiş SPES ve polivinilidin florür (PVDF) kompozit membranını, MYH sistemlerinde atık su arıtımı için test etmek üzere sentezlemiştir. Çalışmada, SPES ve PVDF kombinasyonu, iyi termal kararlılık, esneklik ve yüksek mekanik özellik; zeolit 4A inorganik dolgu malzemesi ise yüksek proton iletkenliği ve STK sağladığı için tercih edilmiştir. Elde edilen membran; yüksek proton iletkenliği, düşük oksijen difüzyonu ve iyi KOİ giderimi (Tablo 1) ile Nafyon 117 ticari membranı ve diğer kompozit membranlarla kıyaslanabilecek iyi sonuçlar elde etmiştir.

2.3. Diğer Polimer Bazlı Kompozit Membranlar

Son yıllarda çalışmalarda çoğunlukla tercih edilen SPEEK ve PES bazlı polimer kompozit membranların yanı sıra ekonomik oluşları ve Nafyon membrana kıyasla yüksek

verimleri ile başka polimer bazlı kompozit membran çalışmaları da bulunmaktadır. SPEEK gibi polieter keton eter keton keton (PEKEKK) da poliarieter keton grubuna dahil bir polimerdir. Masaud Azhar ve ark., ağırlıkça farklı yüzdelerdeki (%5-%30) SPEKEKK bileşimlerinde PS bazlı, PS/SPEKEKK kompozit membranını sentezlemiştir (Azhar et al., 2021). Artan SPEKEKK yüzdesinin, membranın proton iletkenliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen membranlar iyi STK ve yüksek proton iletkenlikleri sergilemiş olup (Tablo 1) yapılan çalışma, PS/SPEKEKK kompozit membranların MYH sistemlerinde yüksek verimle çalıştığını göstermiştir.

PS kullanılan bir başka kompozit membran çalışmasında, Bita Roshanravan ve ark. (Roshanravan, Younesi, Abdollahi, Rahimnejad, & Pyo, 2021) kümes hayvanı atık su arıtımı için ağırlıkça farklı oranlarda (%15, %20 ve %25) sülfonatlı PS (S-PS) ve (%1, %3, %5 ve %7) metal-organik yapı (MIL-100(Fe)) dolgu maddesi içeren bir kompozit membranı MYH sistemlerinde test etmişlerdir. Çalışma sonucunda, MIL-100(Fe) partikülleri kompozit membran üretimi için iletken malzemeler olarak iyi fizikokimyasal davranışlar göstermiş ve S-PS20 (%20 S-PS)/MIL7 (%7 MIL-100(Fe)) membranının Nafyon 117 membranına kıyasla iyi sonuçlar gösterdiği gözlemlenmiştir (Tablo 1). Sentezlenen bu kompozit membran Nafyon'a kıyasla iyi performans göstermiş ekonomik bir alternatif olarak umut vadeden sonuçlar elde etmiştir.

Mükemmel termal dayanımı ile bilinen PBI polimeri, oda sıcaklığında çalışan MYH sistemlerinde; iyi mekanik özelliği, mükemmel kimyasal stabilitesi, Nafyon'a kıyasla ekonomik oluşu ve mikrobiyal yapışmayı engelleyen uzun süreli çalışma performansı ile son yıllarda membran malzemesi olarak tercih edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (S Angioni et al., 2017; Mondal et al., 2021). Bu çalışmalardan birinde, S. Angioni ve ark. (S Angioni et al., 2017), PBI bazlı sülfonik gruplarla işlevselleştirilmiş mezogözenekli silika (SBA-15) dolgu malzemeli kompozit membranlar sentezlenmiştir. Çalışma sonuçları, sentezlenen membranlar arasında PBI/SBA- SO_3H 10 membranının en iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir (Tablo 1). Hazırlanan PBI bazlı kompozit membranlar sürdürülebilirlik, maliyet ve performans açısından MYH sistemlerinde umut vadeden sonuçlar elde etmişlerdir. Bir diğer PBI bazlı kompozit membran çalışmasında ise Sudipta Mondal ve ark. (Mondal et al., 2021), sülfolanmış PBI (S-PBI) ve ağırlıkça farklı oranlarda (%3 ve %5) sülfolanmış GO (S-GO) ile bir kompozit membran elde etmişler ve elde edilen membranlarda S-GO ve S-PBI birbirleri ile iyi uyum sergilemiştir. Çalışma sonuçları, artan S-GO dolgu içeriği ile kompozit membranın proton iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. %5 S-GO içeriği proton iletkenliği ve iyon değişim kapasitesi bakımından daha yüksek değerler verse de %3 S-GO içerikli membran daha iyi elektriksel performans sergilemiş ve maksimum güç yoğunluğu değerinin (Nafyon membrana oldukça yakın) daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 1). Sonuç olarak S-GO içerikli S-PBI bazlı kompozit membranların, MYH sistemlerinde uygulanabilecek düzeyde iyi performans sergiledikleri görülmüştür.

Ruchira Rudra ve ark. tarafından gerçekleştirilen (Rudra, Kumar, Pramanik, & Kundu, 2017), ağırlıkça farklı oranlardaki GO bileşimlerinin, çapraz bağlı polivinil alkol (PVA) ve sülfolanmış stiren (SS) nanokompozit membranına eklenmesi ile elde edilen membranların değerlendirildiği bir

başka çalışmada sonuçlar; doğal PVA polimerine göre azaltılmış su tutma kapasitesi, şişme oranı (Tablo 1) ile artan GO içeriğiyle daha iyi proton iletkenliği sergilediğini göstermiştir. Sentezlenen membranlar; uygun fiyatlı, yüksek verimli alternatif bir polimer membran olarak MYH sistemlerinin ticarileşmesinde rol oynayabilecek potansiyelde olduklarını kanıtlamıştır.

Ho-Young Jung ve ark. tarafından gerçekleştirilen (Jung & Roh, 2020), PVDF/ perflorosülfonik asit (PFSA) kompozit membranının sentezlendiği bir başka çalışmada ise sentezlenen membranın, Nafyon membrandan daha ince ve daha düşük proton direncine sahip olduğu için daha yüksek güç yoğunluğu elde edildiği görülmüştür (Tablo 1). Bu çalışma, MYH sistemleri için umut vadeden bir kompozit membran çalışması olmuştur.

Harsha Nagar ve ark., mutfak suyunun arıtılmasında kullanılmak üzere uygun fiyatlı bir başka membran çalışmasında (Nagar, Badhrachalam, Rao, & Sridhar, 2019), hidrofobik polivinil klorür (PVC) matrisine dahil edilmiş hidrofilik zeolit 4A kompozit membranını sentezlemişlerdir. Çalışma sonuçları, membranların yüksek proton iletkenliği ve Nafyon 117'ye kıyasla yüksek güç değeri (Tablo 1) sağladıklarını ortaya koymuştur. Üretilen membranlar, mutfak suyu arıtımında MYH uygulaması için oldukça ekonomik ve iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

Ayyaru Sivasankaran ve ark., bir başka çalışmada (Sivasankaran, Sangeetha, & Ahn, 2016) sülfolanmış stiren etilen bütülen stiren (SSEBS) ve ağırlıkça farklı oranlarda (%2,5, %5, %7,5 ve %10) sülfolanmış SiO₂ (S-SiO₂) bileşimleri kullanılarak nanokompozit bir membran elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda, elde edilen %7,5 bileşimli S-SiO₂ içeren nanokompozit membranının, Nafyon 117 ticari membranına kıyasla 4 kat daha yüksek güç yoğunluğu gösterdiği gözlemlenmiştir (Tablo 1). Yapılan çalışma, nanokompozit membranın (özellikle %7,5 S-SiO₂), S-SiO₂ tarafından sağlanan yüksek proton iletkenliği nedeniyle MYH sistemleri için uygun bir membran olduğunu göstermiştir.

Narangerav Terbish ve ark., son zamanlarda MYH sistemlerinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanan kitosan (Cs) biyopolimeri bazlı bir kompozit membran çalışmasında (Terbish, Lee, Popuri, & Nalluri, 2020) Cs doğal veya sentetik biyopolimer ile harmanlanarak belediye atık su arıtımında kullanılmıştır. En iyi sonucu fosforik asit çapraz bağlı Cs/aljinat (Alg) kompoziti vermiştir (Tablo 1). Çalışma sonuçları, Cs

bazlı kompozit membranların, saf Cs'ye oranla daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Abdul Azeed Olayiwola Sirajudeen ve ark., bir başka biyopolimer bazlı kompozit membran çalışmasında (Sirajudeen, Annuar, Ishak, Yusuf, & Subramaniam, 2021), ağırlıkça farklı oranlarda (%5-%15) polihidroksibutirat (PHB) içeren orta zincir uzunluğunda polihidroksialkanoatlar (mcl-PHA) matrisine eklenerek bir biyobozunur kompozit membran elde etmişlerdir. Çalışma sonuçları, en iyi sonucu %15 PHB içerikli membranının verdiğini ve bu membranın Nafyon 117 ticari membranından daha iyi güç yoğunluğu elde ettiğini göstermiştir (Tablo 1).

Chen Li ve ark., ilk defa MYH sistemlerinde kullanılacak sülfonatlı TiO₂ (S-TiO₂)/PVDF-g-PSSA (PPSSA) kompozit membranını sentezlemişlerdir (C. Li, Song, Wang, & Zhang, 2020). Membran; kirlenme önleyici özellik, iyi proton iletkenliği ve yüksek verim sergilemesi amacıyla test edilmiştir. Kompozit membrana S-TiO₂ eklenmesi ile yüksek proton iletkenliği ve su tutma kapasitesi sağlanmıştır. S-TiO₂/PPSSA-5.0 membranlı MYH, Nafyon 117 ticari membranına çok yakın bir maksimum güç yoğunluğu ve %91 ile en yüksek KOİ giderimini sergilemiştir (Tablo 1). S-TiO₂/PPSSA-5.0 kompozit membranı, mükemmel fizikokimyasal ve elektrokimyasal ve iyi kirlenme önleyici özelliklerinin yanı sıra basit hazırlama süreci ve düşük maliyeti ile MYH sistemleri için umut vadeden bir membran olmuştur.

Qibin Xu ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir başka benzer PPSSA bazlı kompozit membran çalışmasında ise (Xu et al., 2019) bu kez SiO₂ eklenmiş S-GO kullanılmıştır. SiO₂ ağırlıkça farklı oranlarda PPSSA'ya eklenerek kompozit elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, en iyi sonucu %1 içerikli S-GO@SiO₂ içerikli membranın verdiğini göstermiştir. S-GO@SiO₂/PPSSA kompozit membranı, SGO/PVDF-g-PSSA ve PVDF-g-PSSA kompozit membranlarından daha iyi sonuç ve MYH sistemlerinde kullanılabilir umut vadeden performans değerleri göstermiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Son yıllarda yapılan polimer bazlı kompozit membran çalışmalarının önemli çıktıları

Membran	STK (%)	İDK (meq/g)	Pİ (S/cm)	KOİ Giderimi (%)	KV (%)	Maks. Güç Yoğ. (mW/m ²)	Kynk.
SPEEK/PS ^a	37	-	-	99	12,5	41,42	(Ghasemi, Daud, Alam, Ilbeygi, et al., 2016)
SPEEK/STA ^b	≈ 21,75	≈ 1,775	≈ 0,0167	-	78	207	(Venkatesan & Dharmalingam, 2017)
SPEEK/S-POSS ^c	35,5 ± 0,08	1,8 ± 0,05	0,0131	-	-	162 ± 1,4	(Kugarajah & Dharmalingam, 2020b)
SPEEK/S-TNT ^d	39	3,2	0,0137	79,37	51,81 ± 2	121	(Kugarajah & Dharmalingam, 2020a)
AgGO-GO-SPEEK	75,27	-	0,0370	83,36	16,88	1049	(Liew et al., 2020)
PES/ Fe ₃ O ₄ ^e	1,59 ± 0,30	0,01 ± 0,02	-	-	≈ 11,25	9,59 ± 1,18	(Di Palma et al., 2018)
PES/Fe ₃ O ₄ ^f	1,56 ± 0,24	0,07 ± 0,02	-	-	8,16	10,59 ± 0,72	(Bavasso et al., 2020)
PES/(Fe ₃ O ₄ -SO ₃ H) ^f	5,23 ± 0,30	9,76 ± 0,52	-	-	≈ 19	32,52 ± 3,34	(Bavasso et al., 2021)
SPES/PVDF/4A Zeolit ^g	30	1,51	0,14	82,1	22	≈ 2250	(Nagar & Aniya, 2020)
PS/SPEKEKK ^h	51,30 ± 4,00	2,01 ± 0,16	≈ 0,05	-	-	-	(Azhar et al., 2021)
S-PS20/MIL7	36,5	-	0,00255	57,65	31,01	27,6	(Roshanravan et al., 2021)
PBI/SBA-SO ₃ H10	-	-	0,0005	>90	31	1312 (mW/m ³)	(S Angioni et al., 2017)
S-PBI/S-GO ⁱ	≈ 19	0,912	0,016	-	-	472,46	(Mondal et al., 2021)
GO/PVA/SS ^j	≈ 45	0,33	0,128	≈ 75 (24. gün)	≈ 1,43 (25. gün)	193,6	(Rudra et al., 2017)
PVDF-PFSA	≈ 22	≈ 0,0095	≈ 0,07	-	-	≈ 550	(Jung & Roh, 2020)
PVC/4A Zeolit ^k	37,8	1,92	0,13	89	20,1	250 ± 5	(Nagar et al., 2019)
SSEBS-S-SiO ₂ ^l	210 ± 8	3,015	0,0321	-	85	209 ± 17	(Sivasankaran et al., 2016)
Cs/ALG	1340	3,77 ^m	-	88	-	365 (mW/m ³)	(Terbish et al., 2020)
PHB/mcl-PHA	≈ 22	-	0,0039 ± 0,0002	≈ 70	≈ 65	601	(Sirajudeen et al., 2021)
S-TiO ₂ /PPSSA ⁿ	40,9 ± 0,1	-	0,067 ± 0,002	91	-	130,54	(C. Li et al., 2020)
S-GO @SiO ₂ /PPSSA ^o	34,2 ± 0,2	1,6	0,078	75	-	185	(Xu et al., 2019)

STK: Su Tutma Kapasitesi, İDK: İyon Değişim Kapasitesi, Pİ: Proton İletkenliği, KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KV: Kolombik Verim, -: makaleden ulaşılamayan sayısal veriler, ≈: grafikten okunan yaklaşık değerler, a: %76 sülfonasyon derecesi, b: %7,5 STA içeriği, c: %5 S-POSS içeriği, d: %7,5 S-TNT içeriği, e, f: %10 Fe₃O₄ içeriği g: %1 PVDF, %2 SPES, %15 Zeolit 4A içeriği, h: %20 SPEKEKK içeriği @ 90 derece, i: %3 S-GO içeriği j: %0,4 GO içeriği, k: %15 4A Zeolit içeriği, l: %7,5 S-SiO₂ içeriği, m:kasyon değişim kapasitesin: PPSSA-5.0 içeriği, o: %1 S-GO@SiO₂ içeriği

3. Polimer Bazlı Blend Membranlar

Son yıllarda çalışılan ve MYH sisteminde test edilen polimer bazlı blend membranlar ve çalışmalardaki önemli çıktılar Tablo 2’de verilmiştir. Kompozit membranlarda olduğu gibi SPEEK, PES, PBI, PVDF polimerleri blend membran malzemesi olarak da tercih edilmiştir.

S. Zinadini ve ark., farklı oranlarda PES ve SPES içeren blend membranı, atık su arıtımı ve eş zamanlı elektrik üretimi için MYH sistemlerinde test etmiştir (Zinadini, Zinatizadeh, Rahimi, Vatanpour, & Rahimi, 2017). Çalışma sonucunda; SPES’in sağladığı düşük biyolojik kirlenme, düşük oksijen geçirgenliği, yüksek güç üretimi, yüksek KOİ giderimi ve KV (Tablo 2) görülmüştür (%0 PES, %20 SPES içeren membran en yüksek güç yoğunluğu sergilemiştir.) MYH’lerin üretkenliğini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olduğuna ulaşılmıştır.

Zainab A. Al-Taie ve ark. PES içeren bir başka blend membran çalışmasında (Al-Taie, Shihab, & Allami, 2021), EPS ve PVDF polimerlerini kullanarak modifiye blend membran elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, yapıda bulunan PVDF’nin aşırı su tutumunu azalttığı ve mekanik özelliği geliştirdiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda hazırlanan membranın, kararlı açık devre potansiyeline, işlenebilirliğe, dayanıklılığa, iyi proton iletkenliğine ve sabit koşullar altında mikrobiyal yakıt hücresinde başarılı olduğu görülmüştür.

Karbon nanotüpler (CNT) muhteşem fizikokimyasal özellikleri ile nanoteknoloji su arıtma uygulamalarında kullanmak için oldukça uygundur. Su arıtımı kullanımında CNT’lerdeki tek limitasyon garfit, karbon fiber ve kile kıyasla yüksek maliyetleridir. Bu dezavantaj CNT’nin işlevselleştirilmesi ile giderilebilmektedir (Arora & Attri, 2020). Harsha Nagar ve ark. tarafından hazırlanan çok duvarlı CNT (MWCNT)’nin, SPES/PAI (Torlon) blend membranını ile birleştirildiği blend membran çalışmasında (Nagar, Anusha, & Sridhar, 2017) mutfak atık su arıtımı amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, yüksek KOİ giderimi ve yüksek güç yoğunluğu (Tablo 2) eldesi sağlanmıştır. Hazırlanan membran, Nafyon ticari membranından daha ekonomik ve umut vadeden sonuçlar ortaya koymuştur.

G Sowmya ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada (Sowmya & Prabhu, 2018), PAI ve SPEEK polimerlerini içeren bir diğer blend membran çalışmasında, farklı oranlarda (%0-%20) PAI içeriği ile hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda, yapıdaki SPEEK konsantrasyonunun artması ile iletkenliğin arttığı gözlemlenmiş bununla birlikte artan stabilite ile proton iletkenliğinde daha az azalma gösterdiği için ağırlıkça %95’lik SPEEK membranı saf SPEEK içeren membrana tercih edilmiştir. Çalışmada, MYH sistemlerinde ilk kez Bacillus amyloliquefaciens kullanılmış ve güç yoğunluğu açısından olumlu sonuçlar (Tablo 2) elde edilmiştir.

Vikash Kumar ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada (V. Kumar, Mondal, Nandy, & Kundu, 2016), PBI ve polivinilpirolidon (PVP) polimerlerini içeren blend membranlar test edilmiştir. Membranlar farklı oranlarda (%0-%70) PVP içeriği ile hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, artan PVP içeriğinin su tutma, iyileştirilmiş şişme özelliği, IEC ve proton iletkenliğini artırdığı gözlemlenmiştir (Tablo 2). En iyi sonucu, membranın anot tarafında biyolojik kirlilik gözlemesine rağmen, %70’lik PVP içeren membran vermiştir. Bu membran diğerlerinden %81, %57 ve %36 daha yüksek güç çıkışları sergilemiştir.

A. J. T. Harewood ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise (Harewood, Popuri, Cadogan, Lee, & Wang, 2017) bira atık suyunun arıtılmasında kullanılmak üzere biyopolimer kitosan (Cs) ve kopolimer poli(malik asit-sitrik asit) (PMC) polimerlerini içeren bir blend membran sentezlenmiştir. Çalışma sonuçları, elde edilen kitosan/biyobozunur kopolimer membranın, Nafyon ticari membranına oldukça yakın ve uzun süreli kullanım için umut vadeden sonuçlar verdiğini (Tablo 2) ancak kirlenme önleyici özellik için üzerine daha fazla çalışma gerçekleştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Tablo 2. Son yıllarda yapılan polimer bazlı blend membran çalışmalarının önemli çıktıları

Membran	STK (%)	İDK (meq/g)	Pİ (S/cm)	KOİ Giderimi (%)	KV (%)	Maks. Güç Yoğ. (mW/m ²)	Kynk.
SPES/PES ^a	≈ 62	-	-	≈ 85	≈ 22	≈ 45	(Zinadini et al., 2017)
PES/EPSPVDF	160,41	-	3,77	-	-	46400	(Al-Taie et al., 2021)
SPES/PAI-MWCNT	-	1,45	0,86	87,5	-	190,73	(Nagar et al., 2017)
PAI/SPEEK ^b	19 ± 0,03	1,73 ± 0,01	0,00164	-	-	69	(Sowmya & Prabhu, 2018)
PBI/PVP ^c	35,4	0,36	0,00123	84,36	-	231,38	(V. Kumar, Mondal, et al., 2016)
Cs/PMC	-	-	-	70	-	3022,39	(Harewood et al., 2017)

STK: Su Tutma Kapasitesi, İDK: İyon Değişim Kapasitesi, Pİ: Proton İletkenliği, KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KV: Kolombik Verim, -: makaleden ulaşılamayan sayısal veriler, ≈: grafikten okunan yaklaşık değerler, a: %15 SPES, %5 PES içeriği, b: %5 PAI, %95 SPEEK içeriği, c: %30 PBI, %70 PVP içeriği

4. Nafyon Modifiye Membranlar

MYH sistemlerinde yüksek proton iletkenliği, düşük membran direnci, iyi termal ve mekanik özellikleri ile en yaygın olarak kullanılan ticari membran olan Nafyon, katottan anoda oksijen sızıntısı, substrat kaybı, biyolojik kirlilik, pH dengesizliği, protonlardan daha fazla kation geçirmesi ve oldukça yüksek maliyeti (toplam cihaz maliyetinin yaklaşık %35'i [39]) nedenleri ile araştırmacıları yeni membran sentezi üzerinde çalışmaya itmiştir [9], [10].

Bir önceki bölümlerde, son yıllarda gerçekleştirilen, Nafyon ticari membranına alternatif olabilecek yüksek performans gösteren ve düşük maliyetli polimer bazlı kompozit ve blend membran çalışmalarına yer verilmiş ve olumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu bölümde ise Nafyon'un yukarıda sıralanan dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve özelliklerini iyileştirmek adına son yıllarda yapılan Nafyon modifikasyon çalışmalarına yer verilmiş ve Tablo 3'te bu çalışmalardan elde edilen önemli çıktılar sunulmuştur.

Simone Angioni ve ark., mezogözenekli silika (SBA-15) ve SBA-15'in SO₃H grupları ile işlevselleştirilmesiyle hazırladıkları inorganik dolgu maddelerini kullanarak Nafyon esaslı kompozit membranları kentsel atık su arıtımı için sentezlemişlerdir (Simone Angioni et al., 2016). Sülfonatlı silika içeren Nafyon kompozit MYH'ler, saf Nafyon ve SBA15 bazlı kompozit membranlardan daha yüksek güç ürettiği gözlemlenmiştir. En iyi performansı Nafyon/SBA15-SO₃H10 membranın gösterdiği görülmüştür (Tablo 3). Çalışma sonucunda, SBA-SO₃H dolgu maddesinin kullanımının atık su arıtımında yüksek performans gösterme ve daha kararlı olma açısından başarıya ulaştığı görülmüştür.

G. Hernandez-Flores ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada (Hernández-Flores, Poggi-Varaldo, & Solorza-Feria, 2016), organik atıkların fermentasyonun kaynaklanan atık su arıtımı için ağırlıkça farklı oranlarda (%2 ve %6) agar ve %2 agar ile hibrit oluşturulan Nafyon membranları sentezlenmiş ve sonuçlar Nafyon 117 ticari membranı ile karşılaştırılmıştır. Sentezlenen membranlar, e-ISSN: 2148-2683

Nafyon 117 gibi bir ön işleme ihtiyaç duymadığı için uygun maliyet ve tehlikeli yan ürün oluşmaması bakımından daha çevre dostu ve iyi bir güç/maliyet oranı (mW/US\$) göstermiştir (agar/Nafyon hibriti için 0,9, Nafyon 117 için 0,23). Çalışma sonuçları, Nafyon'a alternatif olarak sentezlenen bu membranların, atık su arıtımında yüksek performans gösteren (Tablo 3) ve uygun maliyetli umut vadeden sonuçlar elde edildiğini ortaya koymuştur.

B.R. Tiwari ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise (Tiwari, Noori, & Ghangrekar, 2016) PVA-borosilikat (MP) ve PVA-Nafyon-borosilikat (MPN) membranları sentezlenmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. MPN, MP'ye %151 daha yüksek güç yoğunluğu sergileyerek daha iyi performans göstermiştir (Tablo 3). Çalışma sonuçları, PVA-Nafyon matrisi ile birleştirilmiş borosilikat cam membranın, MYH'nin güç çıkışını artıran özellikte ve Nafyon 117 ticari membranına kıyasla 11 kat daha düşük maliyete sahip olduğunu göstermiştir.

Majid Bazrgar bajestani ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise (Mousavi, 2016) ağırlıkça %1 TiO₂ manyetik partikülleri içeren Nafyon modifiye membranı farklı çözücüler ile hazırlanarak (dimetil florür (DMF), (DMAc) dimetilasetamid, N-Metil-2-Pirrolidon (NMP)) sentezlenmiştir. Sentezlenen membranlar, işlevsel özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak için çeşitli karakterizasyon işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Nafyon/TiO₂ membranları, Nafyon 112 ticari membranına kıyasla daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Çalışma sonucunda, DMF çözücüsünün Nafyon/TiO₂ kompozit membranı için en uygun ve en iyi sonuçları veren çözücü olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3).

Vikash Kumar ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir başka Nafyon modifiye membran çalışmasında (V. Kumar, Kumar, Nandy, & Kundu, 2016), farklı oranlarda nano-Al₂O₃, sülfonatlı PVDF-ko- heksafloropropilen (HFP)/Nafyon kompozit membranına dahil edilmiştir. Artan nano- Al₂O₃ oranı ile su tutma kapasitesi, oksijen difüzyon hızı ve KOİ giderimi

gözlenmiştir. En iyi güç yoğunluğu sonucunu %5 içerikli nano- Al_2O_3 olan Nafyon modifiye membranı vermiştir (Tablo 3). Çalışma sonuçları, nano- Al_2O_3 partiküllü PVDF-ko-HFP/Nafyon membranların umut vadeden bir Nafyon modifiye membran olduğunu ve Nafyon 115 ticari membranından daha iyi sonuçlar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Piyush Kumar ve ark. benzer bir çalışmada (P. Kumar & Bharti, 2019), PVDF-ko-HFP/Nafyon kompozit membranına Farklı oranlarda TiO_2 manyetik parçacıkları eklemiştir. En iyi sonucu %7 TiO_2 içerikli membranı elde etmiştir. Elde edilen kompozit membran, Nafyon 117 ticari membranına göre daha yüksek su tutma ve iyon değişim kapasitesi, proton iletkenliği sergilemesinin yanı sıra yüksek güç yoğunluğu ve KOİ giderimi sergilemiştir (Tablo 3). Çalışma sonuçları elde edilen bu Nafyon modifiye membran

Nafyon 117 membranına alternatif olabilecek performansta olduğunu göstermiştir.

Liping Fan ve ark. bir başka PVDF partiküllü kullanılan Nafyon bazlı kompozit membran çalışmasında (Fan, Shi, & Xi, 2020), melas atık suyunu arıtmak için PVDF ve aseton ile modifiye edilmiş PVDF, Nafyon ile kompozit oluşturularak kullanılmıştır. PVDF partiküllerinin Nafyon'a modifiye edilmesi MYH sistemlerinde güç eldesini ve su arıtma verimini artırdığı görülmüştür. Sentezlenen Nafyon modifiye membranlardan modifiyeli PVDF/Nafyon membranı daha yüksek bir su emilimi sağladığından daha yüksek güç ve atık su arıtma performansı göstermiştir (Tablo 3). Çalışma sonucunda, modifikasyonsuz Nafyon'dan çok daha iyi performans göstererek umut vadeden sonuçlar elde eden Nafyon modifiye membranları sentezlenmiştir.

Tablo 3. Son yıllarda yapılan Nafyon modifiye membran çalışmalarının önemli çıktıları

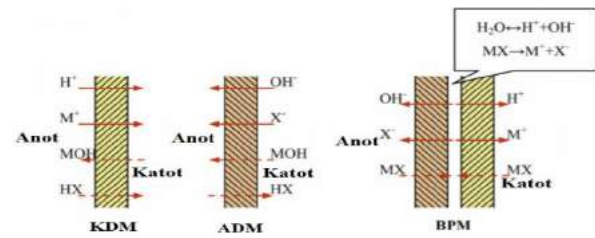
Membran	STK (%)	İDK (meq/g)	Pİ (S/cm)	KOİ Giderimi (%)	KV (%)	Maks. Güç Yoğ. (mW/m ²)	Kynk.
Nafyon/SBA15-SO ₃ H10	34	-	62 ^a	>95	-	380 (mW/m ²)	(Simone Angioni et al., 2016)
Nafyon/%2 agar	-	-	-	-	-	3383 ± 474 (mW/m ²)	(Hernández-Flores et al., 2016)
MPN	105	-	0,07	76,8 ± 3.3	34 ± 1,4	6,8 (mW/m ²)	(Tiwari et al., 2016)
Nafyon/TiO ₂	51	1,32	0,0126	-	-	-	(Mousavi, 2016)
PVDF-ko-HFP/Nafyon ^b	24	0,66	0,0324	86,62	≈ 3,375	541,52 ± 27	(V. Kumar, Kumar, et al., 2016)
PVDF-ko-HFP/Nafyon/TiO ₂ ^c	27,70	0,43	0,0347	88,97		552,12 ± 26	(P. Kumar & Bharti, 2019)
modifiye PVDF/Nafyon	11,80	-	-	66,7	-	-	(Fan et al., 2020)

STK: Su Tutma Kapasitesi, İDK: İyon Değişim Kapasitesi, Pİ: Proton İletkenliği, KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KV: Kolombik Verim, -: makaleden ulaşılamayan sayısal veriler, ≈: grafikten okunan yaklaşık değerler, a: @30°C ve %100 nem değeri, b: %5 içerikli nano- Al_2O_3 , c: %80 S-PVDF-HFP, %13 Nafyon ve %7 TiO_2 içeriği

5. Bipolar Membranlar

Bir önceki bölümlerde gerçekleştirilen çalışmalar, KDM ve PEM çalışmalarından oluşmaktadır. Bu bölümde ise MYH sistemlerinde membran olarak henüz üzerinde yeni çalışmaya başlanan bipolar (çift kutuplu) membran çalışmalarına yer verilmiştir.

Mikroorganizmaların katalitik aktivitesi sonucu açığa sadece katyonlar değil anyonlar da çıkmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar, çift kutuplu bir membranın daha verimli olabileceğini düşünmüşlerdir. BPM, ADM ve KDM membranlarında iyon transferi işleyişleri Şekil 2'de sunulmuştur. BPM'ler, katyon değişim katmanı ve anyon değişim katmanından oluşmaktadır. Bu membranlarda iyonik akım, membran ara yüzünde suyun elektro ayrışmasıyla üretilen H^+ ve OH^- iyonları tarafından taşınmaktadır. Bu sebeple bir BPM yüksek oranda su ayrışma özelliğine sahip olmalıdır (Dharmalingam et al., 2019), (W.-W. Li, Sheng, Liu, & Yu, 2011; Pärnamäe et al., 2021).



Şekil 2. KDM, ADM ve BPM iyon transfer işleyişleri (W.-W. Li et al., 2011)

Changman Kim ve ark. tarafından MYH sistemlerinde kullanılmak üzere sentezlenen BPM çalışmasında (C. Kim et al., 2017) altı değerlikli kromun atık sudan arıtılarak geri kazanılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, membran olarak PEM ve BPM kullanılan MYH sistemleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları, BPM kullanımının; altı değerlikli kromun atık sudan uzaklaştırılmasında PEM'den daha etkili olduğunu ve daha iyi biyoelektrik eldesi sağladığını göstererek (Tablo 4) BPM'nin MYH sistemlerindeki kullanımının umut vadeden sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

Tablo 4. Cr^{+6} gideriminde PEM ve BPM karşılaştırılması

Membran	Maks. Güç Yoğ (mW/m ²)*	Cr ⁺⁶ Giderimi (%)*
PEM	47,2	23,3
BPM	150,5	53,1

*: %50 Cr⁺⁶ içeren atık su

Heming Wang ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir başka altı değerlikli kromun uzaklaştırılması çalışmasında (Wang, Song, Zhang, Tan, & Kong, 2020), bu sefer BPM ile KDM, PEM ve ADM karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları, BPM'nin altı değerlikli kromun uzaklaştırılmasında en iyi sonucu verdiğini göstermiştir. En yüksek güç yoğunluğu ve kolombik verimin ADM ile elde edildiği gözlemlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Cr⁺⁶ gideriminde ADM, KDM, PEM ve BPM karşılaştırılması

Membran	Maks. Güç Yoğ (mW/m ²)	Cr ⁺⁶ Giderimi (%)	KV (%)
ADM	431,8	97,9 ± 0,8	20,9 ± 8,7
KDM	388,0	95,6 ± 0,8	16,8 ± 3,9
PEM	19,6	-*	9,8 ± 3,6
BPM	320,0	99,4 ± 0,2	12,8 ± 3,0

*: PEM, pH ve iletkenliği iyi koruyamadığından en kötü anot performansına dolayısıyla en düşük krom giderme verimliliğine sahiptir.

Heming Wang ve ark. tarafından gerçekleştirilen bir diğer BPM çalışmasında (Wang, Zhang, et al., 2020), topraktan karışık ağır metal/tek ağır metal uzaklaştırılması yapmak için MYH sistemlerinde BPM ve diğer İDM'ler karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları, ağır metal uzaklaştırılmasında ADM ve BPM'lerin (%97,9 ve %95,6, sırası ile) yüksek performans sergilediğini ve karışık ağır metali toprağın iyileştirme performansının tek ağır metali toprağına göre daha iyi olduğunu göstermiştir.

6. Sonuç

MYH sistemleri, atık arıtımı ve geri kazanımı yaparken eş zamanlı elektrik eldesi sağladıkları için son yıllarda araştırmacılar tarafından üzerine düşülen bir teknoloji olmuştur. Bu teknoloji, yüksek maliyeti ve diğer YH'lere oranla düşük elektrik eldesi sebebi ile ticarileşmemiştir. MYH sistemlerini ticarileştirmek için araştırmacılar yüksek performans sergileyen düşük maliyetli membran sentezi üzerinde olan çalışmaları artırmışlardır. İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğu (BPM kullanılan MYH'ler hariç), atık su arıtımında kullanılan MYH için sentezlenen polimer bazlı membranlar olmuştur. Polimerler, uygun fiyatları ve kolay işlenebilirlikleri ile MYH sistemlerinde yüksek performans gösteren uygun fiyatlı membran çalışmalarında önemli rol oynamıştır.

Son yıllarda, üzerine en fazla çalışma gerçekleştirilen polimer bazlı membran yapısı ise kompozit membranlar olmuştur ve çalışmalarından çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- En fazla SPEEK bazlı kompozit membran çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu polimerin uygun maliyeti ve Nafyon'a alternatif performansı araştırmacıları bu yönde çalışmaya itmiştir.
- Yapıya katılan inorganik dolgu malzemeleri, proton iletkenliğinin önemli seviyelere çıkmasına sebebiyet vermiştir.
- Yapılan çalışmalarda yüksek KOİ giderimi elde edilmiştir. En yüksek KOİ giderimi (%99), SPEEK/PS (%3/%97) polimer/polimer kompozit membranından elde edilmiştir.
- Son yıllarda gerçekleştirilen bu çalışmalarda araştırmacılar, Nafyon ticari membranına alternatif olabilecek yüksek performanslı membranlar sentezleyerek olumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

MYH sistemlerinde, son yıllarda gerçekleştirilen, polimer bazlı blend membran çalışmaları oldukça azdır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Son yıllarda en çok tercih edilen blend membran polimeri PES'dir.
- Blend membran çalışmalarında kompozit membran çalışmalarına kıyasla daha yüksek proton iletkenlik değerleri, daha yüksek ortalama KOİ giderimi (yaklaşık %82) ve daha yüksek güç yoğunluğu değerleri sergilenmiştir (en yüksek güç yoğunluğu değerini PES/EPSPVDF blend membranı elde etmiştir. Aynı zamanda en yüksek proton iletkenlik değeri de bu membrana aittir).
- Blend membranlar, iyi performansları sebebi ile üzerinde daha çok çalışma gerçekleştirilmesi gereken bir membran yapısıdır.

Nafyon ticari membranının kısıtlamalarını ortadan kaldırmak için gerçekleştirilen Nafyon modifiye membran çalışmaları son yıllarda azalmıştır (son beş yılda gerçekleştirilen yedi çalışmanın beş tanesi 2016 yılına aittir). Gerçekleştirilen çalışmalar, Nafyon'un dezavantajlarını ortadan kaldıran veya azaltan performans sergileyerek başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Son yıllarda üzerinde durulan bir diğer membran ise içerisinde hem katyon hem de anyon katmanını içeren BPM'ler olmuştur. Henüz bu membran ile ilgili çok fazla çalışma yapılmamıştır ancak son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, BPM'lerin, MYH sistemlerinde, ilerleyen zamanlarda KDM ve PEM'den daha fazla rağbet göreceğini göstermektedir. Bu çalışmalar, BPM'lerin özellikle ağır metallerce kirlenmiş toprağın temizlenmesi ve bu metallerin geri kazanımları konusunda yüksek performans sergilemişlediklerini göstermiştir.

7. Teşekkür

Danışmanım Prof. Dr. İrfan Ar'a araştırmam boyunca beni yönlendirdiği ve değerli görüşlerini benimle paylaştığı için çok teşekkür ederim.

Kaynakça

- Al-Taie, Z. A., Shihab, M. S., & Allami, S. (2021). Blend Modified Polymers (Polyethersulfone, Expandable Polystyrene, Polyvenylidene fluoride) as a Membrane for Microbial Fuel Cell. *Al-Nahrain Journal of Science*, 24(2), 9-13.
- Angioni, S., Millia, L., Bruni, G., Ravelli, D., Mustarelli, P., & Quartarone, E. (2017). Novel composite polybenzimidazole-based proton exchange membranes as efficient and sustainable separators for microbial fuel cells. *Journal of Power Sources*, 348, 57-65.
- Angioni, S., Millia, L., Bruni, G., Tealdi, C., Mustarelli, P., & Quartarone, E. (2016). Improving the performances of Nafion™-based membranes for microbial fuel cells with silica-based, organically-functionalized mesostructured fillers. *Journal of Power Sources*, 334, 120-127.
- Arora, B., & Attri, P. (2020). Carbon nanotubes (CNTs): a potential nanomaterial for water purification. *Journal of Composites Science*, 4(3), 135.
- Azhar, M., Jaafar, J., Aziz, M., Umar, Y., Jafar Mazumder, M. A., & Nazal, M. K. (2021). Mild sulfonated polyether ketone ether ketone incorporated polysulfone membranes for microbial fuel cell application. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(15), 50216.
- Barbir, F. (2013). *PEM Fuel Cells* (Vol. 2). USA: Elsevier.
- Bavasso, I., Bracciale, M. P., Sbardella, F., Puglia, D., Dominici, F., Torre, L., . . . Xin, W. (2021). Sulfonated Fe₃O₄/PES nanocomposites as efficient separators in microbial fuel cells. *Journal of Membrane Science*, 620, 118967.
- Bavasso, I., Di Palma, L., Puglia, D., Luzi, F., Dominici, F., Tirillò, J., . . . Torre, L. (2020). Effect of Pretreatment of Nanocomposite PES-Fe₃O₄ Separator on Microbial Fuel Cells Performance. *Polymer Engineering & Science*, 60(2), 371-379.
- Dharmalingam, S., Kugarajah, V., & Sugumar, M. (2019). Membranes for microbial fuel cells. In *Microbial Electrochemical Technology* (pp. 143-194): Elsevier.
- Di Palma, L., Bavasso, I., Sarasini, F., Tirillò, J., Puglia, D., Dominici, F., & Torre, L. (2018). Synthesis, characterization and performance evaluation of Fe₃O₄/PES nano composite membranes for microbial fuel cell. *European Polymer Journal*, 99, 222-229.
- Durmuş Kaya, H. Ö. (2012). *Yakıt Pili Teknolojisi*. Kocaeli: Umütpe Yayınları.
- Fan, L., Shi, J., & Xi, Y. (2020). PVDF-modified Nafion membrane for improved performance of MFC. *Membranes*, 10(8), 185.
- Ghasemi, M., Daud, W. R. W., Alam, J., Ilbeygi, H., Sedighi, M., Ismail, A. F., . . . Aljlil, S. A. (2016). Treatment of two different water resources in desalination and microbial fuel cell processes by poly sulfone/Sulfonated poly ether ether ketone hybrid membrane. *Energy*, 96, 303-313.
- Ghasemi, M., Daud, W. R. W., Alam, J., Jafari, Y., Sedighi, M., Aljlil, S. A., & Ilbeygi, H. (2016). Sulfonated poly ether ether ketone with different degree of sulphonation in microbial fuel cell: Application study and economical analysis. *International journal of hydrogen energy*, 41(8), 4862-4871.
- Harewood, A., Popuri, S., Cadogan, E., Lee, C.-H., & Wang, C.-C. (2017). Bioelectricity generation from brewery wastewater in a microbial fuel cell using chitosan/biodegradable copolymer membrane. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(7), 1535-1550.
- Harun, N. A. M., Shaari, N., & Nik Zaiman, N. F. H. (2021). A review of alternative polymer electrolyte membrane for fuel cell application based on sulfonated poly (ether ether ketone). *International Journal of Energy Research*.
- Hernández-Flores, G., Poggi-Varaldo, H., & Solorza-Feria, O. (2016). Comparison of alternative membranes to replace high cost Nafion ones in microbial fuel cells. *International journal of hydrogen energy*, 41(48), 23354-23362.
- Jung, H.-Y., & Roh, S.-H. (2020). Polyvinylidene fluoride nanofiber composite membrane coated with perfluorinated sulfuric acid for microbial fuel cell application. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 20(9), 5711-5715. Retrieved from <https://www.ingentaconnect.com/content/asp/jnn/2020/0000020/00000009/art00070;jsessionid=48k7ksmoa69k0.x-ic-live-01>
- Kadioğlu, M. (2008). *Küresel İklim Değişimi ve Türkiye* (Vol. 4). İstanbul: Güncel Yayıncılık.
- Kim, C., Lee, C. R., Song, Y. E., Heo, J., Choi, S. M., Lim, D.-H., . . . Kim, J. R. (2017). Hexavalent chromium as a cathodic electron acceptor in a bipolar membrane microbial fuel cell with the simultaneous treatment of electroplating wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 328, 703-707.
- Kim, J. M., & Patel, R. (2020). Review on proton exchange membranes for microbial fuel cell application. *Membrane Journal*, 30(4), 213-227.
- Kugarajah, V., & Dharmalingam, S. (2020a). Investigation of a cation exchange membrane comprising Sulphonated Poly Ether Ether Ketone and Sulphonated Titanium Nanotubes in Microbial Fuel Cell and preliminary insights on microbial adhesion. *Chemical Engineering Journal*, 398, 125558.
- Kugarajah, V., & Dharmalingam, S. (2020b). Sulphonated polyhedral oligomeric silsesquioxane/sulphonated poly ether ether ketone nanocomposite membranes for microbial fuel cell: Insights to the miniatures involved. *Chemosphere*, 260, 127593.
- Kumar, P., & Bharti, R. P. (2019). Nanocomposite polymer electrolyte membrane for high performance microbial fuel cell: Synthesis, characterization and application. *Journal of the Electrochemical Society*, 166(15), F1190.
- Kumar, V., Kumar, P., Nandy, A., & Kundu, P. P. (2016). A nanocomposite membrane composed of incorporated nano-alumina within sulfonated PVDF-co-HFP/Nafion blend as separating barrier in a single chambered microbial fuel cell. *RSC advances*, 6(28), 23571-23580.
- Kumar, V., Mondal, S., Nandy, A., & Kundu, P. P. (2016). Analysis of polybenzimidazole and polyvinylpyrrolidone blend membranes as separating barrier in single chambered microbial fuel cells. *Biochemical Engineering Journal*, 111, 34-42.
- Li, C., Song, Y., Wang, X., & Zhang, Q. (2020). Synthesis, characterization and application of S-TiO₂/PVDF-g-PSSA composite membrane for improved performance in MFCs. *Fuel*, 264, 116847.
- Li, W.-W., Sheng, G.-P., Liu, X.-W., & Yu, H.-Q. (2011). Recent advances in the separators for microbial fuel cells. *Bioresource technology*, 102(1), 244-252.
- Liew, K. B., Leong, J. X., Daud, W. R. W., Ahmad, A., Hwang, J. J., & Wu, W. (2020). Incorporation of silver graphene

- oxide and graphene oxide nanoparticles in sulfonated polyether ether ketone membrane for power generation in microbial fuel cell. *Journal of Power Sources*, 449, 227490.
- Mondal, S., Papiya, F., Ash, S. N., & Kundu, P. P. (2021). Composite membrane of sulfonated polybenzimidazole and sulfonated graphene oxide for potential application in microbial fuel cell. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104945.
- Mousavi, S. A. (2016). Effect of casting solvent on the characteristics of Nafion/TiO₂ nanocomposite membranes for microbial fuel cell application. *International journal of hydrogen energy*, 41(1), 476-482.
- Nagar, H., & Aniya, V. (2020). Microporous material induced composite membrane with reduced oxygen leakage for MFC application. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104117.
- Nagar, H., Anusha, G., & Sridhar, S. (2017). Sulfonated polyethersulfone/torlon blend membrane incorporated with multiwalled carbon nanotubes for energy production from kitchen wastewater using microbial fuel cell. In *Energy engineering* (pp. 163-167): Springer.
- Nagar, H., Badhrachalam, N., Rao, V. B., & Sridhar, S. (2019). A novel microbial fuel cell incorporated with polyvinylchloride/4A zeolite composite membrane for kitchen wastewater reclamation and power generation. *Materials chemistry and physics*, 224, 175-185.
- Nurettin Çek, A. E. (2020). *Yakut Hücresi Teknolojilerinde Gelişmeler* (Vol. 1). Ankara: Nobel.
- Pandit, S., Savla, N., & Jung, S. P. (2020). Recent advancements in scaling up microbial fuel cells. In *Integrated microbial fuel cells for wastewater treatment* (pp. 349-368): Elsevier.
- Pärnamäe, R., Mareev, S., Nikonenko, V., Melnikov, S., Sheldeshov, N., Zabolotskii, V., . . . Tedesco, M. (2021). Bipolar membranes: A review on principles, latest developments, and applications. *Journal of Membrane Science*, 617, 118538.
- Rahimnejad, M., Ghasemi, M., Najafpour, G., Ismail, M., Mohammad, A., Ghoreyshi, A., & Hassan, S. H. (2012). Synthesis, characterization and application studies of self-made Fe₃O₄/PES nanocomposite membranes in microbial fuel cell. *Electrochimica Acta*, 85, 700-706.
- Roshanravan, B., Younesi, H., Abdollahi, M., Rahimnejad, M., & Pyo, S.-H. (2021). Application of proton-conducting sulfonated polysulfone incorporated MIL-100 (Fe) composite materials for polymer-electrolyte membrane microbial fuel cells. *Journal of Cleaner Production*, 300, 126963.
- Rudra, R., Kumar, V., Pramanik, N., & Kundu, P. P. (2017). Graphite oxide incorporated crosslinked polyvinyl alcohol and sulfonated styrene nanocomposite membrane as separating barrier in single chambered microbial fuel cell. *Journal of Power Sources*, 341, 285-293.
- Shabani, M., Younesi, H., Pontié, M., Rahimpour, A., Rahimnejad, M., & Zinatizadeh, A. A. (2020). A critical review on recent proton exchange membranes applied in microbial fuel cells for renewable energy recovery. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121446.
- Sirajudeen, A. A. O., Annuar, M. S. M., Ishak, K. A., Yusuf, H., & Subramaniam, R. (2021). Innovative application of biopolymer composite as proton exchange membrane in microbial fuel cell utilizing real wastewater for electricity generation. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123449.
- Sivasankaran, A., Sangeetha, D., & Ahn, Y.-H. (2016). Nanocomposite membranes based on sulfonated polystyrene ethylene butylene polystyrene (SSEBS) and sulfonated SiO₂ for microbial fuel cell application. *Chemical Engineering Journal*, 289, 442-451.
- Sowmya, G., & Prabhu, M. R. (2018). Fabrication of blend polymer electrolyte membrane with poly (amide imide)-sulfonated poly (ether ether ketone) for microbial fuel cell. *Materials Research Express*, 6(2), 025519.
- Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., . . . Ward, K. R. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 12(2), 463-491.
- Terbish, N., Lee, C.-H., Popuri, S. R., & Nalluri, L. P. (2020). An investigation into polymer blending, plasticization and cross-linking effect on the performance of chitosan-based composite proton exchange membranes for microbial fuel cell applications. *Journal of Polymer Research*, 27(9), 1-14.
- Tiwari, B., Noori, M. T., & Ghangrekar, M. (2016). A novel low cost polyvinyl alcohol-Nafion-borosilicate membrane separator for microbial fuel cell. *Materials chemistry and physics*, 182, 86-93.
- Venkatesan, P. N., & Dharmalingam, S. (2017). Characterization and performance study of phase inverted Sulfonated Poly Ether Ether Ketone-Silico tungstic composite membrane as an electrolyte for microbial fuel cell applications. *Renewable Energy*, 102, 77-86.
- Wang, H., Song, X., Zhang, H., Tan, P., & Kong, F. (2020). Removal of hexavalent chromium in dual-chamber microbial fuel cells separated by different ion exchange membranes. *Journal of hazardous materials*, 384, 121459.
- Wang, H., Zhang, H., Zhang, X., Li, Q., Cheng, C., Shen, H., & Zhang, Z. (2020). Bioelectrochemical remediation of Cr (VI)/Cd (II)-contaminated soil in bipolar membrane microbial fuel cells. *Environmental research*, 186, 109582.
- Wu, H., Fu, Y., Guo, C., Li, Y., Jiang, N., & Yin, C. (2018). Electricity generation and removal performance of a microbial fuel cell using sulfonated poly (ether ether ketone) as proton exchange membrane to treat phenol/acetone wastewater. *Bioresource technology*, 260, 130-134.
- Xu, Q., Wang, L., Li, C., Wang, X., Li, C., & Geng, Y. (2019). Study on improvement of the proton conductivity and anti-fouling of proton exchange membrane by doping SGO@ SiO₂ in microbial fuel cell applications. *International journal of hydrogen energy*, 44(29), 15322-15332.
- Yakut Pili Katalizörleri*. (2019). (H. D. Kıvrak Ed.): Gece Kitaplığı.
- Zinadini, S., Zinatizadeh, A., Rahimi, M., Vatanpour, V., & Rahimi, Z. (2017). High power generation and COD removal in a microbial fuel cell operated by a novel sulfonated PES/PES blend proton exchange membrane. *Energy*, 125, 427-438.



Characterizations of 12-tungstophosphoric acid metal salt nano particles synthesized by ultrasound

Elif Akbay^{1*}, Mert Can Ertaş²

¹ Eskisehir Technical University, Dept. of Chemical Engineering, Eskişehir, 26470, Turkey, (ORCID ID 0000-0003-0323-7938), codes@eskisehir.edu.tr

² Eskisehir Technical University, Dept. of Chemical Engineering, Eskişehir, 26470, Turkey, (ORCID ID 0000-0003-0963-3173), mertcanertas@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015865)

ATIF/REFERENCE: Akbay E., Ertaş, M.C. (2021). Characterizations of 12-tungstophosphoric acid metal salt nano particles synthesized by ultrasound. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1384-1387.

Abstract

A set of nano metal exchanged 12-tungstophosphoric acid salt (M =Fe, Cr, Ni, Cu) was synthesized under ultrasonic irradiation in nanoscale. To thoroughly recognize the structure transformation induced by metal doping and morphologies of as-prepared M-TPA catalysts, a combination of XRF, XRD, SEM-EDX, N₂ adsorption-BET, were employed. These analyzes indicate that the chemical structure and crystallinity of nano M-TPA remained unchanged while its morphology was found a different particle size according to the exchange metal.

Keywords: Nano, 12-tungstophosphoric acid metal salt, ultrasonic irradiation.

Ultrason yardımı ile sentezlenen 12-tungstofosforik asit metal tuzu nanoparçacıklarının karakterizasyonları

Öz

Bir dizi nano metal değişimli 12-tungstofosforik asit tuzu (M =Fe, Cr, Ni, Cu) ultrasonik ışınlama altında nano ölçekte sentezlenmiştir. M-TPA katalizörlerinin metal dopingi ve morfolojilerinin neden olduğu yapı dönüşümünü tam olarak tanımak için XRF, XRD, SEM-EDX, N₂ adsorpsiyon-BET kombinasyonu ile karakterizasyon yapılmıştır. Bu analizler, nano M-TPA'nın kimyasal yapısının ve kristalliğinin değişmeden kaldığını, morfolojisinin metale göre farklı bir partikül boyutu bulunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Nano, 12-tungstophosphoric asit metal tuzu, ultrasonik ışınlama.

* Sorumlu Yazar: codes@eskisehir.edu.tr

1. Introduction

Nowadays, researches have been started on some acid catalysts that can replace traditional mineral acid catalysts for current environmental and economic reasons. In this context, heteropoly acids are called super acids with stronger acidity than 100% sulfuric acid (H_2SO_4) (Misino, 2000). Heteropoly acids (HPAs), which possess ultra-strong acidity and unique Keggin-type structure, show unique properties such as high stability, excellent solubility, environmentally benign, and so on. However, HPAs are also disadvantaged by low surface area ($< 10 \text{ m}^2/\text{g}$) and difficulties in catalyst recovery, which largely limit their practical industrial applications (Cavani, 1998 and Okuhara et al, 1996). Today, it is possible to produce catalysts with a very large active surface area with nano-sized particles, which are products of nanotechnology. Because the active surface area of the catalysts synthesized by nanoparticles is much wider than the larger particles (Gallezot et al, 2017). Therefore nanocatalysts, as heterogeneous catalysts, have emerged as sustainable alternatives to conventional catalysts because of its stability and high surface area (Polshettiwar et al, 2017). Nanocatalyst shows both homogeneous catalyst properties, characterized by high activity and selectivity because of high surface area due to the nanoscale, and heterogeneous catalyst properties, characterized by the easy separation from the reaction mixture because of their very low-resolution feature. Therefore, nanocatalysts synthesis methods have gained importance. One of them is sonochemical synthesis, which is an effective method under the irradiation of ultrasound in a solution that has been used to prepare various nanomaterials (Martos et al, 2001, and Abbasi et al, 2010). The use of ultrasound irradiation offers versatility, rapidity, and high reaction yields while being eco-friendly by employing water as a solvent (Pinjaria et al, 2013).

Heteropoly acids catalysts constitute an alternative for reactions, as they are characterized by well-defined structure, Bronsted acidity, high proton mobility, the ability to exchange electrons (Wang et al, 2017, Silva et al, 2020). As a heteropoly acid, 12-tungstophosphoric acid, $H_3PW_{12}O_{40}$, is known as strong acid and it is considered within the class of superacid (Misino, 2000). One of the strategies to circumvent the above drawbacks is to by modifying HPAs with metal cations (e.g., Ag, Cs, Fe, Mn, Fe, Co, Ni, Cu) Lewis acid centers will be formed in addition to the Brønsted acid sites (Patel et al, 2014).

Herein, a series of metal ion-exchanged phosphotungstic acid (M-TPA) have been synthesized with the adopted metals included (M = Fe, Cr, Cu, Ni). The physicochemical properties of the as-synthesized M-TPA catalysts were characterized by a variety of different analytical and spectroscopic techniques such as XRD, XRF, SEM-EDX, and N_2 adsorption.

2. Material and Method

All nano metal salts of 12-tungstophosphoric acid (M-TPA) were prepared according to the following method. To synthesize the catalysts, 0.05 M aqueous solution containing a stoichiometric amount of metal salt was slowly added at a rate of about $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ controlled by a flow meter to an aqueous solution of 0.04 M heteropolyacid $H_3PW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$ (20 ml) at room temperature, under ultrasonic irradiation for 3h. The resultant suspension was dried at 333 K for 1 day and the solid was centrifuged and washed three times with methanol.

A multiwave ultrasonic generator (Bandelin Sonopuls Ultrasonic Homogenizers HD 3100; equipped with a generator, converter, converter cable, and ultrasound horn) was used at a frequency of 20 kHz for the ultrasound irradiation.

The crystallinity and the phase purity of the synthesized samples were analyzed by X-ray diffraction (XRD) patterns using X-ray diffractometer (Rigaku Rind XRD MiniFlex 300/600), and Cu-K α (1.54 \AA) radiation (40kV-15mA). The scanning was done from $2\Theta=70^\circ$ to $2\Theta=5^\circ$ at a rate of 2° min^{-1} .

The results from scanning electron microscopy (SEM) were obtained on an SEM-Benchtop tabletop microscope with 15 kV accelerating voltage. X-ray fluorescence (XRF) analysis was carried out by using Rigaku ZSX Primus II.

The BET (Brunauer–Emmett–Taller) specific surface area was obtained from N_2 adsorption-desorption isotherm measured at 77 K in an automatic adsorption apparatus. Before measurement, samples were degassed at 100°C for about 2 hr.

3. Results and Discussion

In this work, ultrasonic irradiation was used in the synthesis of M-TPA (M: Fe, Cr, Cu, Ni) to achieve a unique catalyst in nanoscale. M-TPA was synthesized. The structure and morphology of all synthesized nanocatalysts were studied by XRD, XRF, BET, SEM, and N_2 adsorption.

The results of the XRF analysis showed that W/Metal and P/Metal ratios. The results are given in Table 1.

Table 1. The result of XRF analysis of nano M-TPA

Catalyst	Stoichiometric ratio		Stoichiometric ratio(calculated)	
	W/M	P/M	W/M	P/M
$FePW_{12}O_{40}$	12	1	12.20	0.95
$CrPW_{12}O_{40}$	12	1	12.05	1.03
$Ni_3(PW_{12}O_{40})_2$	8	0.66	8.5	0.9
$Cu_3(PW_{12}O_{40})_2$	8	0.66	7	0.75

As seen in Table 1, all synthesized nano-M-TPA were in agreement with the stoichiometric ratios of the M-TPA structure, indicating a successful formation of catalyst.

XRD analysis was performed for all synthesized M-TPAs given in Fig 1.

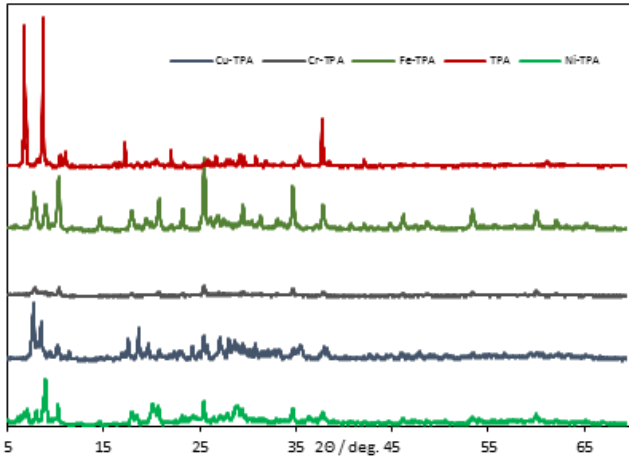


Fig. 1. XRD diagrams of nano M-TPA catalyst

As seen in Figure 1, the characteristic peaks of the Keggin anions in $H_3PW_{12}O_{40}$ were observed at 8, 10 and 37°. The same characteristic peaks of the Keggin structure were also observed in the synthesized $FePW_{12}O_{40}$, $CrPW_{12}O_{40}$, $Cu_3(PW_{12}O_{40})_2$, and $Ni_3(PW_{12}O_{40})_2$, with a slight shift toward higher 2θ values was observed. These shifts show the interaction of metal on the structure of Keggin. Additionally, the characteristic peaks of the exchanged metal (Fe, Cr, Cu, Ni) cations were also observed in the XRD patterns of the samples. In addition, there was a decrease in peak intensity due to metal interaction.

Table 2. Crystal sizes of nano M-TPA catalysts

Catalysts	Peak Degree 2θ (°)	FWHM B_{size} (°)	Dp (nm)
$CrPW_{12}O_{40}$	25.48	0.218	39.05
$FePW_{12}O_{40}$	25.48	0.244	34.89
$Cu_3(PW_{12}O_{40})_2$	7.74	0.261	31.89
$Ni_3(PW_{12}O_{40})_2$	8.96	0.320	26.03

The crystal sizes of all synthesized nano M-TPAs were calculated using XRD data and the results are given in Table 2. Given in Table 2, the metal salts presented ranged from 26 (i.e., CuTPA) to 39 nm (i.e., FeTPA).

The morphology of the metal-exchanged TPA catalysts was also investigated by SEM shown in Fig. 3.

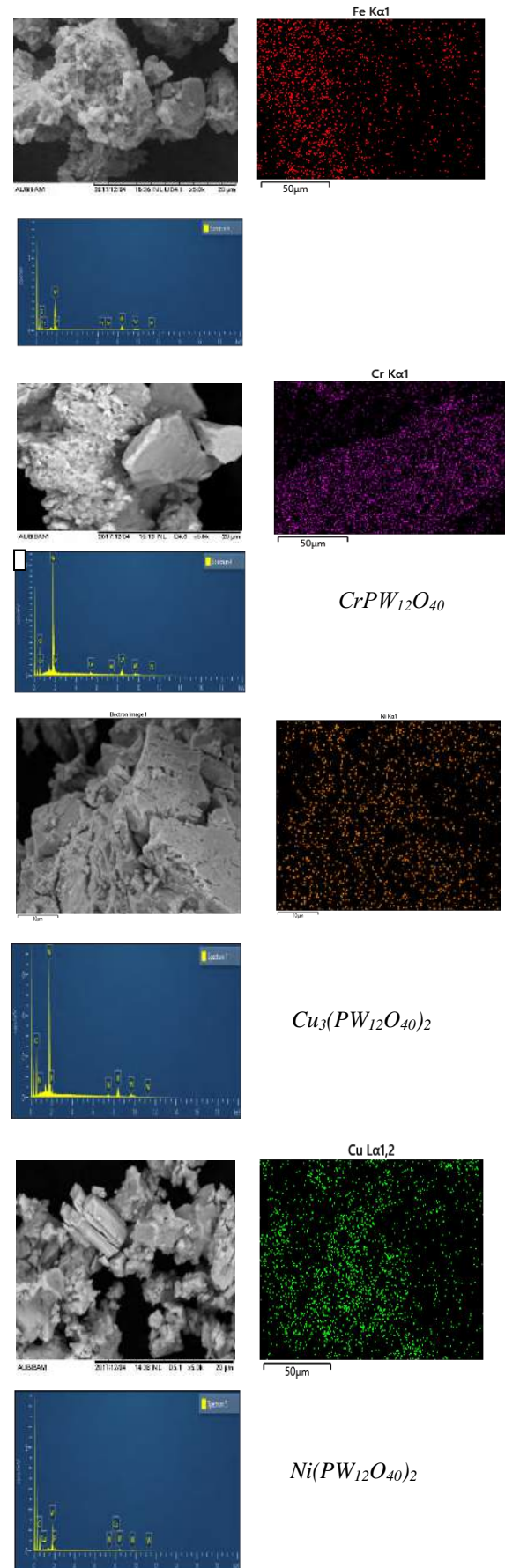


Fig 3. SEM, SEM-EDX mapping, and EDX spectra of nano M-TPA

M-TPA are well-defined crystalline particles with the irregular shapes which is consistent with the literature.

The textural properties of pure TPA and metal exchanged TPA catalysts were investigated using N₂ adsorption desorption analysis (Fig.4).

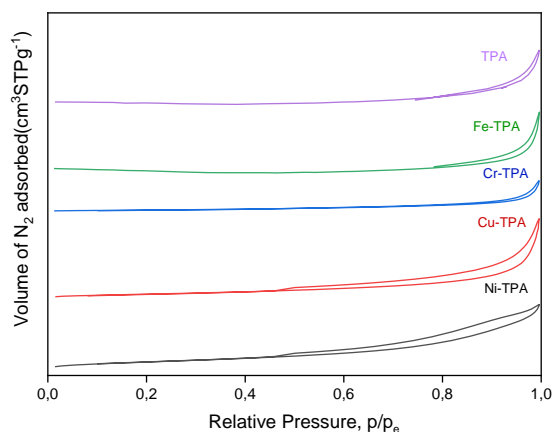


Fig.4. N₂ adsorption isotherms of TPA and metal exchanged TPA

Average pore diameter, pore volume and BET surface area of these materials based on N₂ adsorption analysis are given in Table 3.

Table 3. BET surface area, average pore diameter, pore volume of M-TPA catalysts on N₂ adsorption analysis

	BET Surface Area (m ² /g)	Pore Diameter (Å)	Pore Volume (cm ³ /g)	Pore Volume (Meso) (cm ³ /g)	Pore Volume (Macro) (cm ³ /g)
TPA	5.91	57.27	0.102	0.0081	0.00
Fe ₃ (PW ₁₂ O ₄₀) ₃	2.92	54.72	0.111	0.0031	0.0025
Cr ₃ (PW ₁₂ O ₄₀) ₃	0.91	53.8	0.029	0.0017	0.0014
Cu ₃ (PW ₁₂ O ₄₀) ₂	0.40	104.12	0.0022	0.0013	0.0009
Ni ₃ (PW ₁₂ O ₄₀) ₂	0.04	72.24	0.0045	0.0025	0.0020

According to IUPAC recommendations, the isotherms of the synthesized catalysts can be classified as type II as shown in Fig. 4. It is usually observed for non-porous or macroporous materials (Kong et al, 2016). The pore distribution of M-TPAs synthesized in nanoparticles has wide ranges. As can be seen from the pore volumes in the table. The macropore percentages of nano M-TPAs are high so, they have a highly nonporous structure and therefore their surface area is lower than TPA.

4. Conclusions and Recommendations

Nano metal exchanged 12-tungstophosphoric acid salt (M = Fe, Cr, Ni, Cu) were synthesized with ultrasonic and hydrothermal methods, one of the nanomaterial synthesis methods, in this work. All synthesized catalysts were characterized by XRF, XRD, SEM-EDX, and N₂ adsorption

analyzes. The characterization results show that the structure of M-TPA salts is synthesized as nanoparticles without deterioration.

5. Acknowledge

The authors gratefully acknowledge the financial support of the Scientific Research Projects of Eskisehir Technical University (No. 1709F521 and 1707F112).

References

- Abbasi, A. Morsali (2010), Colloids Surf. A, vol 371 (1-3) pp. 113–118.
- Cavani F.(1998), Heteropolycompound-based catalysts: A blend of acid and oxidizing properties. Catalysis Today, Vol. 41, Issues 1–3.
- Gallezot, P. (2007), Catalytic routes from renewables to fine chemicals. Catal. Today, Vol 121, Issues 1–2, pages 76-91.
- Kong P.S., M.K. Aroua, W.M.A.W. Daud, H.V. Lee, P. Cognet, Y. Pères (2016), Catalytic role of solid acid catalysts in glycerol acetylation for the production of bio-additives: a review, RSC Advances, vol. 6 pp. 68885–68905.
- Misono M. (2000), Heteropolyacids. Versatile green catalysts usable in a variety of reaction media. Pure Appl. Chem, Vol. 72, No. 7, pp 1305–1311.
- Martos M. J. Morales. L. Sanchez. R. Ayouchi. D. Leinen. F. Martin. J.R. Ramos Barrado(2001). Electrochim. Acta 46 pp. 2939.
- Okuhara, T. M. Mizuno, M. Misono (1996). Catalytic Chemistry of Heteropoly Compounds. Vol. 41, pp 113-252.
- Patel C. M., M. Chakraborty, Z.V.P. Murthy(2014), Ultrason. Sonochem. vol 21 pp. 1100–1107.
- Pinjaria D.V., K. Prasad, P.R. Gogatea, S.T. Mhaskeb, A.B. Pandita(2013), Chem. Eng. Process. vol 74 pp 178–186.
- Polshettiwar V. and R. S. Varma(2010), The Royal Society of Chemistry 12 743–754.
- Silva M.J. da, A.A. Rodrigues(2020), Metal silicotungstate salts as catalysts in furfural oxidation reactions with hydrogen peroxide, Molecular Catalysis, vol 493 111104.
- Wang H. Liu L.-j, Gong S.-w.(2017), Esterification of oleic acid to biodiesel over a 12-phosphotungstic acid-based solid catalyst, Journal of Fuel Chemistry and Technology, vol 45 pp. 303-310.



Eksenel Basınç Yükü Altında Farklı Ebatlı Beton Küp Numunelerde Boyut Etkisinin İncelenmesi

Hakan Aydın^{1*}

^{1*}İlkadım Belediyesi, Ar&Ge Müdürlüğü, Samsun, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1886-5497), hakanaydin@ilkadim.bel.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015776)

ATIF/REFERENCE: Aydın, H. (2021). Eksenel Basınç Yükü Altında Farklı Ebatlı Beton Küp Numunelerde Boyut Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1388-1398.

Öz

Aynı geometriye sahip beton numuneler üzerinde yapılan bu deneysel çalışmada numune boyutu ile nominal basınç dayanımı arasında numune boyutunun artması ile nominal dayanımın azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu olay beton ve betonarmenin kırılma mekaniğinde boyut etkisi olarak adlandırılmaktadır. Eksenel basınç yükü altında Laboratuvar koşullarında üretilen değişik basınç dayanımlarındaki küp beton numunelerde kırılma yükleri deneysel olarak elde edilmiştir. Ulaşılan sonuçlarla boyut etkisi eğrileri çizilip, ilgili boyut etkisi parametreleri hesaplanmıştır. Farklı beton sınıflarında (C20, C25, C30, C35, C40) beş ayrı grupta küp numunelerle toplam 45 adet beton deney numunesi kullanılmıştır. Çalışmada her bir beton sınıfı alfabetik olarak sırasıyla (A, B, C, D, E) olarak harflendirilmiştir. Çalışmada ulaşılan sonuçlara Bazant'ın boyut etkisi metodunun Lineer I, Lineer II ve Non-lineer ile Carpinteri'nin MFSL (Multifractal Scaling Law) analizleri uygulanmış ve boyut etkisi bağıntıları elde edilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlar ilgili boyut etkisi denklemlerine çok iyi uymuştur. Beton dayanımının boyut etkisi teorisi ile korelasyonu tam olarak kurulmuştur. Boyut etkisinin varlığı, farklı dayanımlara sahip küp numunelerle yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla açıkça görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kırılma mekaniği, boyut etkisi, basınç dayanımı, beton deneyleri, küp numune

Investigation of Size Effect on Concrete Cube Samples of Different Sizes Under Axial Compressive Load

Abstract

In this experimental study conducted on concrete samples with the same geometry, it was concluded that the nominal strength decreases with increasing sample size between sample size and nominal compressive strength. This phenomenon is called the size effect in the fracture mechanics of concrete and reinforced concrete. Fracture loads were obtained experimentally for cube concrete specimens with different compressive strengths produced under laboratory conditions under axial compressive load. With the results obtained, size effect curves were drawn and related size effect parameters were calculated. A total of 45 concrete test samples were used with cube samples in five different groups in different concrete classes (C20, C25, C30, C35, C40). In the study, each concrete class is alphabetically lettered as (A, B, C, D, E). Linear I, Linear II and Non-linear analyzes of Bazant's size effect method and MFSL (Multifractal Scaling Law) analysis of Carpinteri were applied to the results obtained in the study, and size effect curves and parameters were obtained. The existence of the size effect was clearly seen with the results obtained from the experiments performed with cube samples with different strengths.

Keywords: Fracture mechanics, size effect, compressive strength, reinforced concrete experiments, cube specimen

* Sorumlu Yazar: hakanaydin@ilkadim.bel.tr

1. Giriş

Mühendislik yapıların tasarım aşamasında dikkate alınanlar yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli süneklik olmaktadır. Yapılar dış yüklerle birlikte rötre, sünme, dinamik yükler ve mesnet çökmesi gibi yük etkilerinin etkisi altında olduğunda, bu durumda yapısal davranışın belirlenmesinde en önemli parametreler arasında sayılmaktadırlar. (Doğangün, 2002; Tuhta vd.2019; Koç ve Tuhta, 2012, Tuhta vd.2020).

Yük maksimum değerine ulaştıktan sonra artan deformasyonlarda yükün neredeyse sabit kaldığı göçmeler sünektir. Gevrek davranışa sahip malzemelerde ise maksimum değere ulaştıktan sonra yük hızla azalır. Plastik davranışta, geometrik olarak aynı boyutlara sahip elemanlar yaklaşık olarak aynı gerilme seviyesinde çökerken, gevrek davranışta, boyutlar arttıkça göçmedeki nominal gerilme önemli ölçüde azalır. (Koç ve Şener,2003; Bazant vd.,1998; Aydın ,2010; Akkaya vd.,2003).

Mevcut yönetmelik TS 500, plastik limit analizine dayanmaktadır ve boyut etkisi göstermemektedir. Başka bir deyişle, farklı boyutlardaki geometrik olarak benzer elemanlar aynı gerilmeye göçerler. Plastik limit analizinde yapı, kırılma anında tek serbestlik dereceli sistem gibi davranır ve kırılma yüzeyindeki tüm noktalar aynı anda hareket eder ve göçer. Gerçekte, malzeme mukavemeti, kırılma yüzeyinin farklı noktalarında farklı zamanlarda aşılır. (Koç,2007, Aydın,2010).

Basınç dayanımı, beton ve beton esaslı yapıların tasarımında kullanılan betonun en önemli mühendislik özelliklerinden biridir. Bununla birlikte, önceki testler ve teorik araştırmalar, laboratuvarında test edilen betonun mukavemetinin numunenin şekli ve boyutundan güçlü bir şekilde etkilendiğini ve sonuç olarak, betonun ölçülen mukavemeti, doğal bir malzeme özelliği değil, malzeme ve yapısal davranışın bir kombinasyonudur.

Beton basınç dayanımının boyut etkisi olgusu ilk olarak (Gonnerman,1925) tarafından deneysel olarak gösterilmiş ve daha sonra (Weibull,1939)'un teorisi ile açıklanmıştır. 1980'lerden bu yana, betonun kırılma mekaniği kavramına dayalı olarak, beton dayanımının boyut etkisi için bir dizi teorik model geliştirilmiştir. (Bazant vd.,1998) ve (Kim ,1990) sırasıyla, boyut etkisi yasasını (SEL) ve değiştirilmiş boyut etkisi yasasını (MFSEL) türetmiştir. (Carpinteri vd. (1994), çok fraktal ölçekleme yasasını (MFSL) türetmiştir. Bu boyut etkisi modelleri, betonun boyut etkisini bir dereceye kadar açıklayabilir. Öte yandan, bazı araştırmacılar numune boyutunun artmasıyla beton dayanımının azalmasını açıklamak için ampirik ifadeler geliştirmiştir (Akkaya vd., 2003; Koç., 2007; Che Y., vd.2010).

Kırılma mekaniği, göçmenin yapıdaki ilerlemesini dikkate alan, mukavemetsel enerji kriterlerini kullanan bir göçme teorisidir. Mikro çatlaklar hemen her yapı içinde vardır ve göçme, gerilmeler yükleri altında çatlakların birbirleriyle birleşmesinden oluşmaktadır. (Bazant vd.,1998; Koç,2007; Akkaya vd., 2003).

(Hillerborg, 1983) Kırılmanın türü basınç olsa bile, temelde kırılma süreci her zaman çekme mukavemeti aşıldığında meydana gelir. Betonarme gibi elemanların tasarımında boyut etkisinin kullanılması önemli faydalar sağlamaktadır. Özellikle boyut etkisi dikkate alınarak farklı ebatlardaki yapı elemanları için aynı güvenliği sağlamak mümkündür. Böylece daha güvenli, daha ekonomik bina tasarımı ve yeni beton malzeme ve yeni tasarım yöntemleri kullanma olasılığı artar. Boyut etkisinin kullanılması ile yüksek dayanımlı betonlar, çok büyük boyutlu yapılar

(barajlar, nükleer santraller, savunma yapıları gibi) ve öngörülmesi yapılar daha güvenli ve ekonomik olarak inşa edilebilir. (ACI Report,1992; Shah vd.,1995; Van ve J.G.M,1997; Erdoğan, 2000, Akkaya vd.2003). Beton yarı kırılma bir malzemedir, kırılma bölgesinin oluşumu ve gelişimi, cam, metal vb malzemelerden çok farklıdır.

Yurtiçinde ve yurtdışında birçok araştırmacı betonun boyut etkisi üzerine birçok araştırma yapmış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Beton dayanımının boyut etkisi üzerine hem deneysel hem de teorik olarak kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. (Koç ve Şener,2003, Koç,2007, Şanal, 2018, Koç ve Birinci, 2012). Beton küp numuneler üzerinde boyut etkisini içeren çalışmalardan (Neville,1956) üç boyutlu beton küp numuneler (70,125,150 mm) üzerinde basınç deneyleri yapmış ve sonucunda küçük numunelerin büyük numunelerden daha yüksek dayanıma sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

(Şanal,2018) yapmış olduğu deneysel çalışmasında beton deneylerinde kullanılan numunelerinin boyut ve ebatlarının deneysel sonuçlara etkilerini kapsamlı olarak değerlendirmiş ve 100mm'lik küplerin pratikte kullanımının uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır.

(Koç ve Birinci, 2013) Normal ve lifli betondan hazırlanan boyutları büyük numuneden küçük numuneye doğru 4:2:1 benzerlik oranlarına sahip konsol elemanlardan konsol eksenlerine paralel basınç yüklemesi uygulayarak yaptıkları analizler sonucunda boyut boyut etkisi parametrelerini bulmuşlar, logaritmik eksen takımlı boyut etkisi eğrilerini düzenlemişlerdir. (Sabnis,1979), 12 araştırmacı tarafından farklı beton koşulları, farklı kür yöntemleri ve farklı yaşlar altında elde edilen deneysel verileri analiz etmişler ve boyut etkisi dikkate alınarak beton basınç dayanımının ampirik denklemini elde etmişlerdir. Beton malzemenin boyut etkisinin bir çok faktörden etkilendiği sonucuna ulaşmışlardır.

Yang ve Wu., (1997), tam dereceli ve ıslak beton küp numuneleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı testleri gerçekleştirmişler ve çalışmanın sonucunda hem tam dereceli hem de ıslak betonun mukavemetinin boyut etkisine sahip olduğunu ve değişim yasasının Weibull istatistiksel teorisi ile tutarlı olduğunu göstermişlerdir.

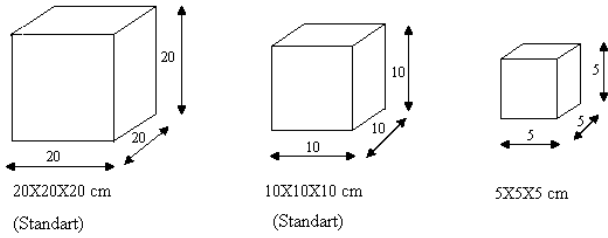
Chen Wei vd., (2014), tek eksenli yüklem altında 3 farklı beton küp numuneler üzerinde farklı dinamik yüklem hızlarında (10- 5,10-4,10-3,10-2/s) yaptıkları beton basınç dayanım testlerinde farklı numune boyutlarının beton tepe gerilmeleri ile olan varyasyon analizlerini yapmışlardır. Weibull ve Bazant boyut etkisi modellerine gerinim hızının etkisini dahil ederek, deformasyon hızı etkisi dikkate alınarak beton dayanımının boyut etkisi modelini oluşturmuşlardır.

Bu çalışma ile amaçlanan literatürdeki araştırmalarla ilgili çalışmalara katkı sağlayacak düzeyde numune boyutunun ve geometrinin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmaktır. Eksenel basınç yükü altında Laboratuvar koşullarında üretilen değişik basınç dayanımlarındaki 200 mm, 100 mm ve 50 mm arasında değişen beton küp numuneler hazırlanmış ve test edilmiştir. Kırılma yükleri deneysel olarak elde edilerek ulaşılan sonuçlarla boyut etkisi eğrileri çizilip, ilgili boyut etkisi parametreleri hesaplanacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hazırlanan Deney Numuneleri ve Özellikleri

5 farklı dayanımda beton sınıfı kullanılarak hazırlanan bu çalışmada Hazır Beton Santralinde üretilen seri betonlar kullanılmıştır. Her bir seri farklı ebatlarda küp numunelerden oluşmaktadır. Deney grubunda boyutları birbirinin 1:2:4 katı olan deney numuneleri hazırlanmış ve kullanılmıştır. Bir deney grubu içinde 3 adet büyük, 3 adet orta ve 3 adet küçük deney numuneleri toplamda 9 adet ve 5 farklı dayanımda toplam 45 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Küçük beton küp deney numune ebatları 50x50x50 mm, orta boy beton küp deney numune ebatları 100x100x100 mm, büyük beton küp deney numune boyutları 200x200x200 mm'dir (Şekil 1.1). Deney numunelerini isimlendirmede küp (Cupe) numuneler için CU harfleri kullanılmıştır. Üçüncü harf deney gruplarını göstermekte olup her bir seri için A, B, C, D, E harfleri kullanılmıştır. Beton küp numune kalıplarının hazırlanmasında çelik sac malzeme kullanılmıştır (Şekil 1.2). Bu çalışmada her bir seri beton grubunda aynı beton karışımından tek seferde alınan betonlar kullanılmış ve toplamda 45 adet küp beton deney numunesi kullanılmıştır. (Şekil 1.3).



Şekil 1.1 Küp numune kalıp şekilleri



Şekil 1.2. Küp numune kalıplarının hazırlanması



Şekil 1.3. Kalıplara yerleştirilmiş aynı seri küp beton numuneleri
e-ISSN: 2148-2683

2.2. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan malzemelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri bu kısımda açıklanmıştır.

2.2.1. Çimento

Deneylerde kalite standardı PÇ 42,5 ve PÇ 32,5 olan çimentolar kullanılmıştır. Kullanılan çimentolar TS EN 196 -1 standardındadır.

Tablo 2.1. Çimentonun fiziksel özellikleri

Çimentonun Cinsi	CEM I 42,5 R	CEM II/B-P 32,5 R
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,10	2,88
Priz Süresi Başlangıcı (dak.)	135	170
Priz Süresi Sonu (dak.)	200	240
Özgül Yüzey(cm ² /g)	3690	4663
Hacim Genleşmesi (mm)	1	0

2.2.2. Agrega ve Beton Karışım Hesabı

Bu çalışmada farklı dayanımda 5 seri betonlar kullanılmıştır. Farklı dayanımlardaki bu betonlarda kullanılan agrega çapı $d_{max}=10-16$ mm arasındadır. Agregaların fiziksel özellikleri ve karışıma giren miktarları tablolarda sunulmuştur.

2.2.3. Karışıma Giren A, B, C, D, E Sınıfındaki Beton Karışım Formları

Tablo 2.2. CUA Beton Sınıf Karışım

KARIŞIMA GİREN MALZEMELER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
CEMI 42.5	140	45,75
CEM II 32.5	170	57,63
KUM	945	353,07
MICIR NO 1	948	349,29
MICIR NO 2	0	0
SU	181	181,02
KATKI	3,72	3,23
HAVA	0	10
TOPLAM	2388	1000,0

Tablo 2.3. CUB Beton Sınıf Karışım

KARIŞIMA GİREN MALZEMELER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
CEMI 42.5	200	65,36
CEM II 32.5	160	54,24
KUM	964	357,12
MICIR NO 1	933	343,57
MICIR NO 2	0	0
SU	165	165,33
KATKI	5,04	4,38
HAVA	0	10
TOPLAM	2428	1000,0

Tablo 2.4. CUC Beton Sınıf Karışım

KARIŞIMA GİREN MALZEMELER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
CEMI 42.5	230	75,16
CEM II 32.5	180	61,02
KUM	923	344,72
MICIR NO 1	927	341,21
MICIR NO 2	0	0
SU	163	162,90
KATKI	5,74	4,99
HAVA	0	10
TOPLAM	2429	1000,0

Tablo 2.5. CUD Beton Sınıf Karışım

KARIŞIMA GİREN MALZEMELER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
CEMI 42.5	250	81,70
CEM II 32.5	230	77,97
KUM	851	314,43
MICIR NO 1	931	342,94
MICIR NO 2	0	0
SU	167	167,12
KATKI	6,72	5,84
HAVA	0	10
TOPLAM	2436	1000,0

Tablo 2.6. CUE Beton Sınıf Karışım

KARIŞIMA GİREN MALZEMELER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
CEMI 42.5	300	98,04
CEM II 32.5	250	84,75
KUM	777	287,08
MICIR NO 1	921	339,29
MICIR NO 2	0	0
SU	174	174
KATKI	7,70	6,70
HAVA	0	10
TOPLAM	2430	1000,0

2.3. Betonun Yerleştirilmesi ve Kalıplardan Çıkarılması

Deneylerde kullanılacak kalıpların iç yüzeyi kalıp ayırıcı olarak kullandığımız yağ ile ince bir tabaka halinde kaplanmıştır. (Şekil 2.1). Bu çalışmada Hazır Beton Santralinde üretilen farklı dayanımlardaki betonlar ayrı tarihlerde alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Betonun kalıp içinde düzgün yerleşmesi için TS EN 12390-2 standardına uygun sıkıştırma işlemi yapılmıştır. (Şekil 2.1).



Şekil 2.1.Şantiyede Beton Küp Numune Alma

Betonun döküm işleminden sonra 28 gün süreyle $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de kür havuzuna alınmıştır. 28. gün akabinde kür havuzundan alınan numuneler hava kurusu hale gelene kadar bekletilmiş ve numuneler deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir. Yapılan bu deney çalışmalarını içeren resimler Şekil 2.2'de topluca sunulmuştur.



Şekil 2.2 Betonun Kalıba Yerleştirilmesi ve Kürü

2.4. Deney Numunelerinin Yüklenmesi

A, B, C, D, E olarak isimlendirilen farklı boy ve dayanımlardaki beton küp deney numunelerinin gerilme basınç deneylerinde 500 tonluk ve 200 tonluk kapasiteli beton pres makinaları kullanılmıştır. (Şekil 2.3 ve 2.4).



Şekil 2.3.ELE marka (500ton) beton pres makinesi



Şekil 2.4 BAZ marka (200ton) beton pres makinesi

2.5. Metot

2.5.1. Betonun Boyut Etkisi Bağlantıları

Betonun heterojen yapısı, LEKM teorisi ve Weibull'un olasılık teorisi ile tam olarak uyuşmamaktadır. Bazant ve Carpinteri tarafından betona uygun yöntemler geliştirilmiştir. (Bazant,1998; Bazant vd., 1987; Carpinteri, 1988; Carpinteri vd., 1994).

2.5.2. Bazant'ın Boyut Etkisi Bağlantısı

Basitçe boyut etkisi bağlantısı Bazant tarafından çok sayıda deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda önerilmiştir. (Bazant vd.,1998; Aydın,2010; Bazant ve Sun,1987).

$$\sigma_N = \frac{Bf_t}{\sqrt{1 + D/D_0}} \quad (3.1)$$

f_t : malzemenin çekme gerilmesi,

B : boyutsuz bir sabit,

D_0 : birimi uzunluk olan bir sabittir.

B ve D_0 : malzemenin geometrisine ve kırılma özelliklerine bağlı birer sabittir.

Bu iki sabit malzeme boyutundan bağımsızdır.

Bazant'ın önerdiği boyut etkisi eşitliğinde Eş. 3.1 için, yapı çok küçük $D \ll D_0$ ise, $\beta = D/D_0$ değeri birin yanında küçük olduğundan göz önüne alınmaz. $\sigma_N = Bf_t$ olur ki göçme gerilmesi plastik limit analizi ya da emniyet gerilmeleri yöntemi ile analiz edilmektedir.

Eğer yapı çok büyük ise ($D \gg D_0$) bir değeri β değeri yanında çok küçüktür, $\sigma_N = Bf_t \beta^{1/2}$ olur.

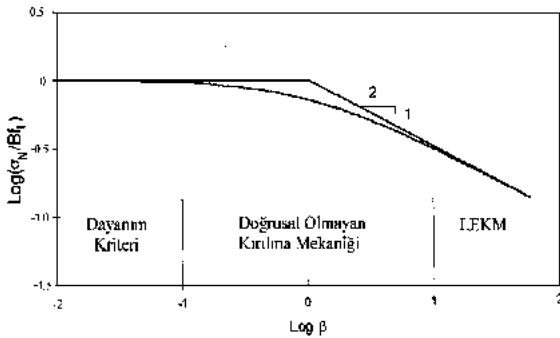
Yani, kırılma gerilimi lineer elastik kırılma mekaniği ile analiz edilir.

Logaritmik eksenle $-1/2$ eğimli bir doğru olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Denklem 3.1 sadece aynı betondan yapılmış ve aynı maksimum agrega boyutunu içeren yapılara uygulanabilir.

$\beta \gg 1$ ise lineer elastik kırılma mekaniği uygulanır.

$\beta \ll 1$ ise plastik limit analiz uygulanır.



Şekil 3.1 Boyut etkisinin logaritmik ölçekte gösterimi

$\beta < 0.1$ ise plastik limit analiz, $0.1 < \beta < 10$ ise nonlinear kırılma mekaniği, $\beta > 10$ ise lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) geçerlidir.

Bazant'ın yaklaşık boyut etkisi denklemi Eş. (3.1) ayarlanarak, bilinmeyen malzeme sabitleri B ve D_0 lineer regresyon ile elde edilebilir.

2.5.3. Bazant'ın Doğrusal I Analizi

Bazant'ın eşitliğine doğrusal I regresyon analizi;

σ_N : nominal gerilme

D : karakteristik boyut

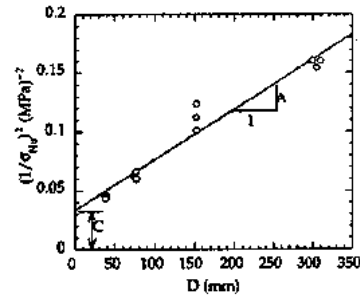
Doğrusal analiz I işlem sonucu

$$\sigma_N = \frac{Bf_t}{\sqrt{1 + D/D_0}} \quad \text{Eş. (3.1)}$$

$$\frac{1 + D/D_0}{B^2 f_t^2} = \frac{1}{\sigma_N^2} \quad \text{Şeklinde yazılıp,}$$

$$\frac{1}{B^2 f_t^2} + \frac{1}{B^2 f_t^2} \frac{D}{D_0} = \frac{1}{\sigma_N^2} \quad \text{Denklemine dönüştürülürse}$$

(Şekil 3.2) deki gibi eğimi A olan $Y = AX + C$ gibi bir doğru olur.



Şekil 3.2 Doğrusal Analiz I

Eş. 3.1 bağlantısı, biçiminde düzenlenir ise

$$(3.4)$$

$$X = D, \quad Y = \left(\frac{1}{\sigma_N^2} \right), \quad Bf_t = 1/\sqrt{C}, \quad D_0 = C/A \quad (3.5)$$

Kırılma mekaniği parametreleri

$$K_{IC} = k_0 Bf_t \sqrt{D_0} \quad G_f = \frac{k_0}{2k_0'} D_0 \quad C_f = \frac{(Bf_t)^2 D_0 k_0^2}{E}$$

Eşitlikler yazılırsa,

$$K_{IC} = k_0 \frac{1}{\sqrt{A}}, \quad G_f = \frac{k_0^2}{E} \frac{1}{A} \quad (3.6)$$

$$c_f = \frac{k_0}{2k_0'} \frac{C}{A}$$

2.5.4. Bazant'ın Doğrusal II Analizi

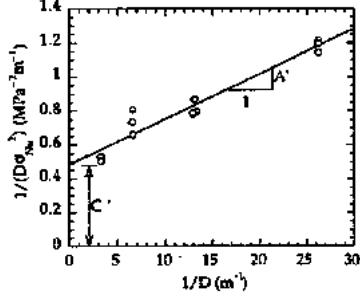
Doğrusal II analiz: Eş. 3.1 bağlantısı,

$Y' = A X' + C'$ şeklinde düzenlenir ise (Şekil 3.3);

$$X' = 1/D, Y' = \frac{1}{\sigma_N^2 D} \quad (3.7)$$

$$Bf_t = 1/\sqrt{A'} \quad (3.8)$$

$$D_0 = A'/C' \quad (3.9)$$



Şekil 3.3. Doğrusal Analiz II

Doğrusal analiz II sonucunda K_{lc} , G_f ve c_f değerleri de aşağıdaki şekilde bulunmaktadır:

$$K_{lc} = k_0 \frac{1}{\sqrt{C'}}, G_f = \frac{k_0^2}{E'} \frac{1}{C'}, c_f = \frac{k_0}{2k_0'} \frac{A'}{C'} \quad (3.10)$$

$$\omega_A^2 = \frac{1}{A^2} \frac{\chi^2 \sum}{(n-2)\Delta}, \omega_C^2 = \frac{1}{C^2} \frac{\chi^2 \sum_{xx}}{(n-2)\Delta},$$

$$m^2 = \frac{(n-1)\chi^2 \sum(\sum_x)^2}{(n-2)\Delta(\sum_y)^2}$$

$$\chi^2 = \sum_{yy} - A \sum_{xy} - C \sum_y \quad (3.11)$$

$$\omega_{K_{lc}} = \frac{1}{2} \omega_A \quad (3.12)$$

2.5.5. Doğrusal Olmayan Analiz

Bazant'ın doğrusal olmayan regresyon analizi;

σ_N : nominal gerilme

D: karakteristik boyuttur.

D_0 ve Bf_t değerlerini doğrusal değer olarak gösterilir.

Eş. 3.1'in her iki tarafının doğal logaritması alınır ve düzenlenirse:

$$\ln \sigma_N = \ln \frac{Bf_t \sqrt{D_0}}{\sqrt{D_0 + D}} \quad (3.13)$$

K_{lc} , G_f ve c_f değerleri analiz sonucu;

$$K_{lc} = k_0 M, G_f = \frac{k_0^2}{E} M^2, c_f = \frac{k_0}{2k_0'} N \quad (3.14)$$

2.5.6. Carpinteri'nin Çok Çatlaklı Boyut Etkisi Bağıntısı

(Carpinteri, 1988), çatlak yüzeyindeki en yüksek yükte meydana gelen hasarı fraktal geometri ile modelleyerek boyut etkisi kavramına geometrik olarak yaklaşmıştır. Teori temel

olarak numunenin homojenlik derecesine dayanmaktadır. Küçük beton yapılar da, yapı boyutunun yanında agrega boyutu da ihmal edilemeyeceğinden homojenlik minimum düzeydedir.

Ölçekleme Yasasının (MFSL) analitik ifadesi aşağıdaki gibidir (3.19):

$$\sigma_N = \left(C + \frac{A}{d} \right)^{0.5} \quad (3.15)$$

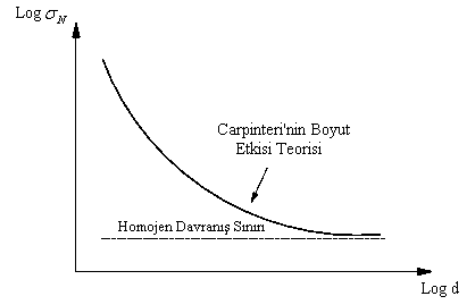
σ_N = Nominal çekme dayanımı

C= Gerilme karesinin fiziksel boyutları ile sabittir.

A= Gerilim-yoğunluk faktörünün karesinin fiziksel boyutları ile sabittir.

d = Karakteristik yapı boyutu

Bazant'ın boyut etkisi teorisi belirli bir boyut aralığında geçerliliği olmasına karşın, Carpinteri'nin fraktal yaklaşımı Bazant'ın aksine sınırsız bir boyut aralığında geçerliliği kabul edilmiştir.



Şekil 3.4. Carpinteri'nin boyut etkisi teorisi

Carpinteri'ye göre, eleman boyutu küçüldükçe nominal gerilmeler sonsuza gider. Eleman boyutu arttıkça, nominal gerilim sabit bir değere yaklaşır (Carpinteri vd.,1994).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. CUA-CUB-CUC-CUD-CUE Beton Küp Numuneleri Basınç Dayanım Değerleri

Küp numunelerde beton press makinaları sonucunda okunan dayanım değerleri Tablo 3.1'de sunulmuştur. Tablolar incelendiğinde beton küp numuneler de boyut arttıkça ortalama dayanımların düştüğü açıkça görülebilmektedir.

Tablo 3.1 Beton Küp Deney Numune Grubu Basınç Dayanım Değerleri

Numune Boyutu (dx dx dx) (cm)	Beton Sınıfı	Küp No	Göçme Yüğü(N)	Dayanım (Mpa)	Ortalama Dayanım
20x20x20	C UA	1	1193500	29,84	28,76
		2	1271500	31,79	
		3	986100	24,65	
10x10x10		4	239800	23,98	30,48
		5	328800	32,88	
		6	345700	34,57	
5x5x5		7	78900	31,56	32,25
		8	81100	32,44	
		9	81900	32,76	

Numune Boyutu (dx dx dx) (cm)	Beton Sınıfı	Küp No	Göçme Yüğü(N)	Dayanım (Mpa)	Ortalama Dayanım
20x20x20	C UB	1	1788300	44,71	37,23
		2	1469200	36,73	
		3	1209500	30,24	
10x10x10		4	362900	36,29	40,50
		5	411200	41,12	
		6	441000	44,1	
5x5x5		7	110000	44	46,80
		8	120000	48	
		9	121000	48,4	

Numune Boyutu (dx dx dx) (cm)	Beton Sınıfı	Küp No	Göçme Yüğü(N)	Dayanım (Mpa)	Ortalama Dayanım
20x20x20	C UC	1	1239000	30,98	32,83
		2	1494000	37,35	
		3	1206000	30,15	
10x10x10		4	466200	46,62	45,44
		5	504100	50,41	
		6	393000	39,3	
5x5x5		7	121200	48,48	45,81
		8	111000	44,4	
		9	111400	44,56	

Numune Boyutu (dx dx dx) (cm)	Beton Sınıfı	Küp No	Göçme Yüğü(N)	Dayanım (Mpa)	Ortalama Dayanım
20x20x20	C UD	1	1578000	39,45	35,36
		2	1355000	33,88	
		3	1310000	32,75	
10x10x10		4	426500	42,65	48,39
		5	471300	47,13	
		6	553800	55,38	
5x5x5		7	135000	54	61,48
		8	161000	64,4	
		9	165100	66,04	

Numune Boyutu (dx dx dx) (cm)	Beton Sınıfı	Küp No	Göçme Yüğü(N)	Dayanım (Mpa)	Ortalama Dayanım
20x20x20	C UE	1	1541000	38,53	44,49
		2	1796000	44,9	
		3	2001000	50,03	
10x10x10		4	509900	50,99	54,62
		5	561500	56,15	
		6	567100	56,71	
5x5x5		7	124000	49,6	57,07
		8	147000	58,8	
		9	157000	62,8	

Bazant tarafından önerilen teorideki denklemi (3.1) lineer regresyon ile düzenlendikten sonra, verilen $Y=AX+C$ formatına getirilerek her bir beton küp numune için kırılma değerlerinin yer aldığı tablolar ve ilgili grafikler oluşturulacaktır. Boyut etkisini en net gösteren eğri Bazant'ın logaritmik eğrisidir (Şekil 3.1).

Bölüm 2.5'de açıklanan teorilere göre bağıntıların analizleri bilgisayar programı Excel ile çözümlenmiş. Programdan elde edilen lineer regrasyon analizleri sonucunda bulunan değerlerle beton küp deney numunelerinin her bir grubuna ait Doğrusal I, Doğrusal II, Doğrusal Olmayan Analizler ile, MFSL analiz sonuçları Tablo 3.2-Tablo 3.6 ve Şekiller 4.6-4.13 de verilmiştir.

3.2. Beton Küp Numune Analiz Sonuçları

Tablo 3.2 Boyut Etkisi Parametreleri A Deney Grubu

Değişkenler	Doğrusal Analiz I	Doğrusal Analiz II	Doğrusal Olmayan Analiz	Çok Çatlaklı Boyut Etkisi Analizi
$D_0 (l_{ch}) (mm)$	515,1116	342,8155	539,269477	16,390
$A (Ac)$	1,784E-06	0,0008497	-	12966,36
$C (Bc)$	0,0009191	2,478E-06	-	791,0916
$\omega_A (\omega_{Ac})$	0,987328	0,1824278	-	0,8684
$\omega_C (\omega_{Cc})$	0,2535593	0,8273141	-	0,1883
R	0,357	0,900	0,400	0,39
m	0,5156902	0,4127769	-	0,3943
$Bf_i (Mpa)$	32,985627	34,306752	33,3194675	0,3718

Tablo 3.3 Boyut Etkisi Parametreleri B Deney Grubu

Değişkenler	Doğrusal Analiz I	Doğrusal Analiz II	Doğrusal Olmayan Analiz	Çok Çatlaklı Boyut Etkisi Analizi
$D_0 (l_{ch}) (mm)$	185,87776	143,10058	224,402221	45,2191
$A (Ac)$	2,048E-06	0,0003447	-	51959,7
$C (Bc)$	0,0003808	2,409E-06	-	1149,06
$\omega_A (\omega_{Ac})$	0,4632219	0,1870649	-	0,3683
$\omega_C (\omega_{Cc})$	0,329671	0,3541219	-	0,2203
R	0,632	0,896	0,679	0,72
m	0,505233	0,3308983	-	0,3598
$Bf_i (Mpa)$	51,247984	53,860777	50,2643949	0,3869

Tablo 3.4 Boyut Etkisi Parametreleri C Deney Grubu

Değişkenler	Doğrusal Analiz I	Doğrusal Analiz II	Doğrusal Olmayan Analiz	Çok Çatlaklı Boyut Etkisi Analizi
$D_0 (l_{ch}) (mm)$	75,20192	137,2212	675,1023	53,9043
$A (Ac)$	3,36E-06	0,00034	-	58206
$C (Bc)$	0,000252	2,48E-06	-	1079,8
$\omega_A (\omega_{Ac})$	0,240937	0,1961	-	0,43686
$\omega_C (\omega_{Cc})$	0,423832	0,355973	-	0,3115
R	0,843	0,887	0,756	0,65
m	0,414374	0,341401	-	0,4771
$Bf_i (Mpa)$	62,93914	54,21656	44,35814	0,3715

Tablo 3.5 Boyut Etkisi Parametreleri D Deney Grubu

Değişkenler	Doğrusal Analiz I	Doğrusal Analiz II	Doğrusal Olmayan Analiz	Çok Çatlaklı Boyut Etkisi Analizi
$D_0 (l_{ch}) (mm)$	23,15908	25,49656	23,5552	308,2976
$A (Ac)$	3,64E-06	9,12E-05	-	166240,4
$C (Bc)$	8,44E-05	3,58E-06	-	539,2206
$\omega_A (\omega_{Ac})$	0,156655	0,578811	-	0,1841
$\omega_C (\omega_{Cc})$	0,894832	0,195226	-	0,751
R	0,924	0,546	0,918	0,898
m	0,369699	0,375333	-	0,407
$Bf_i (Mpa)$	108,8559	104,726	108,9853	0,6416

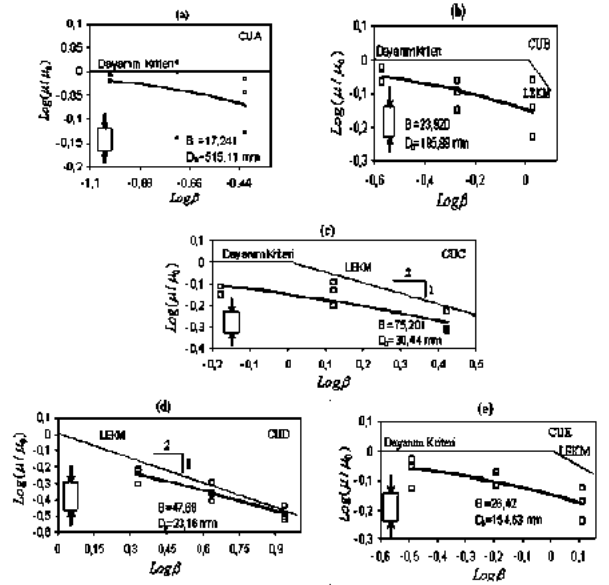
Tablo 3.6 Boyut Etkisi Parametreleri E Deney Grubu

Değişkenler	Doğrusal Analiz I	Doğrusal Analiz II	Doğrusal Olmayan Analiz	Çok Çatlaklı Boyut Etkisi Analizi
$D_0 (l_{ch}) (mm)$	154,6337	223,23472	273,6553	41,9791
$A (Ac)$	1,45E-06	0,0002543	-	77750,61
$C (Bc)$	0,000224	1,139E-06	-	1852,127
$\omega_A (\omega_{Ac})$	0,339947	0,2080652	-	0,41064
$\omega_C (\omega_{Cc})$	0,290821	0,6144411	-	0,22804
R	0,743	0,876	0,710	0,677
m	0,413478	0,4252256	-	0,381
$Bf_i (Mpa)$	66,86829	62,703607	61,23312	0,4252

3.2.1. Boyut Etkisi Eğrileri: Doğrusal I Analiz Sonuçları

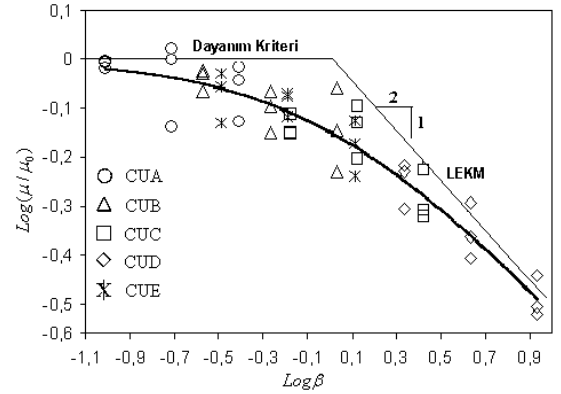
Doğrusal I analiz sonuçları logaritmik eksen takımli boyut etkisi eğrileri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Her bir seri betona ait boyut etkisi eğrileri de toplu olarak Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

LEKM'de boyut etkisi kuvvetlice görülür. Gerçekte betonun nominal dayanımı, bu iki ideal durum arasındadır. Eleman boyutları ve gevreklik arttıkça, LEKM'ne yaklaşılmaktadır.



Şekil 4.6 Bazantın Doğrusal I Analiz Sonucu logaritmik eksen takımli boyut etkisi eğrileri

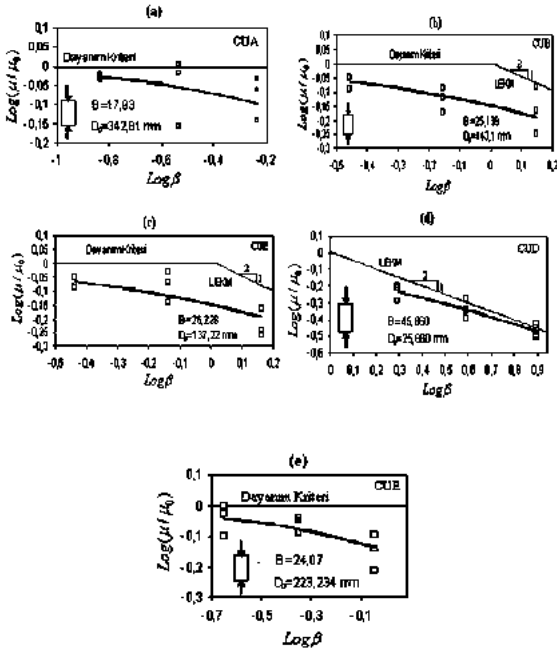
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki eğrilerde kullanılan μ değişkeni, boyut etkisi analizinde kullanılan nominal gerilim değeridir.



Şekil 4.7. Beton Küp Numunelerin Doğrusal I Analiz Sonucu Toplu Boyut Etkisi Eğrisi

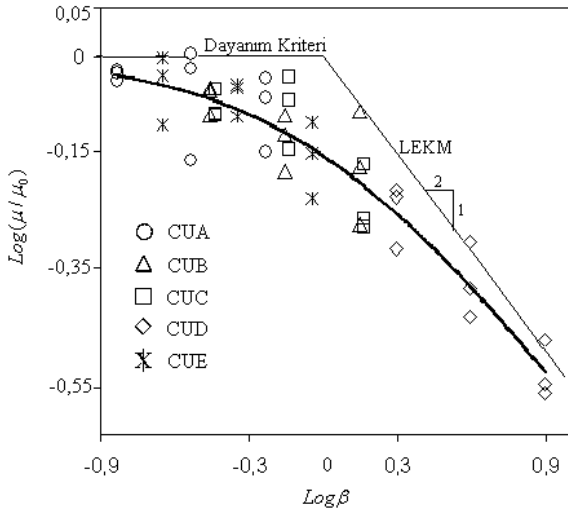
3.2.2. Boyut Etkisi Eğrileri: Doğrusal II Analiz Sonuçları

Bazant'ın Doğrusal II analiz sonuçları logaritmik eksen takımli boyut etkisi eğrileri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Her bir seri betona ait boyut etkisi eğrileri de toplu olarak Şekil 4.9'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Bazantın Doğrusal II Analiz Sonucu logaritmik eksen takımılı boyut etkisi eğrileri

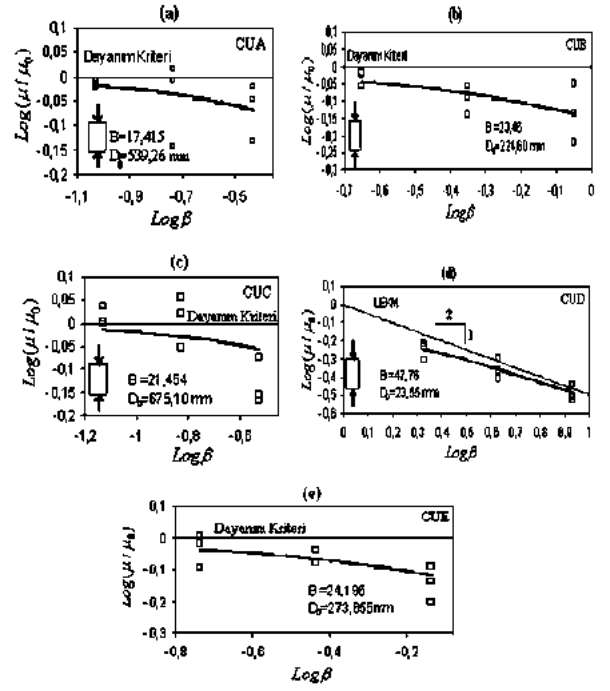
Şekil 4.8 ve 4.9'daki eğrilerde kullanılan μ değişkeni, boyut etkisi analizinde kullanılan nominal gerilim değeridir.



Şekil 4.9. Beton Küp Numunelerin Doğrusal II Analiz Sonucu Toplu Boyut Etkisi Eğrisi

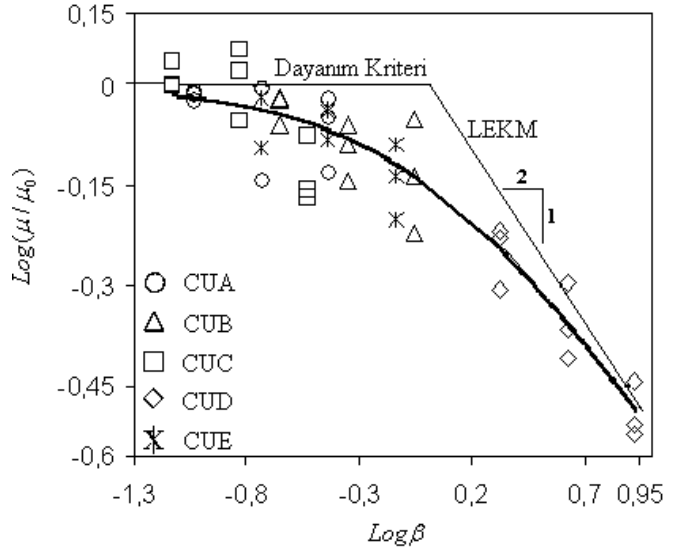
3.2.3. Boyut Etkisi Eğrileri: Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Bazant'ın doğrusal olmayan analiz sonuçları logaritmik eksen takımılı boyut etkisi eğrileri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Her bir seri betona ait boyut etkisi eğrileri de toplu olarak Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



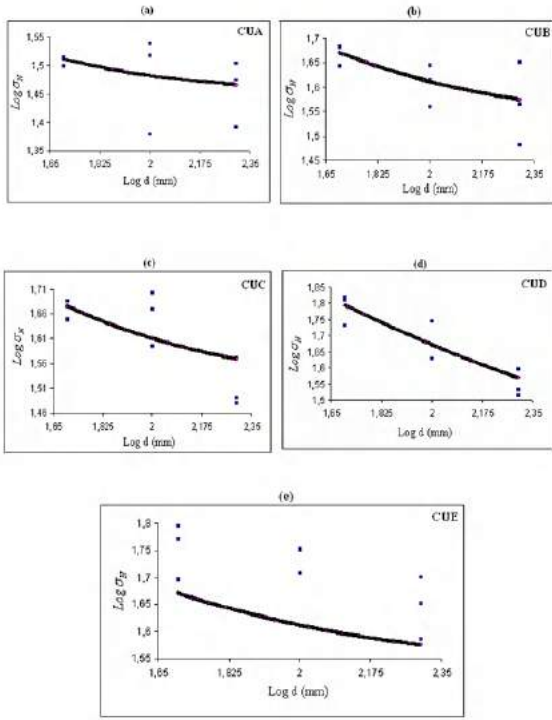
Şekil 4.10 Bazantın Doğrusal Olmayan Analiz Sonucu logaritmik eksen takımılı boyut etkisi eğrileri

Şekil 4.10 ve 4.11 deki eğrilerde kullanılan μ değişkeni, boyut etkisi analizinde kullanılan nominal gerilim değeridir.

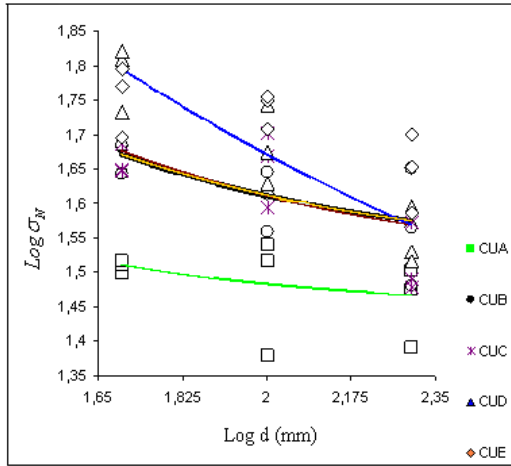


Şekil 4.11. Beton Küp Numunelerin Doğrusal Olmayan Analiz Sonucu Toplu Boyut Etkisi Eğrisi

3.2.4. Carpinteri Çok Çatlaklı Boyut Etkisi Analiz Sonucu Eğrileri



Şekil 4.12 Carpinteri (MFSL) Analizi Sonucu Logaritmik Eksen Takımlı Boyut Etkisi Eğrileri



Şekil 4.13 Carpinteri (MFSL) Analizi Sonucu Logaritmik Eksen Takımlı Toplu Boyut Etkisi Eğrileri

4. Sonuç

Yapılan bu deneysel çalışmanın sonuçlarına dayanarak, aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir.

- Farklı dayanımlara sahip küp beton numunelerin aksel basınç yükü altında kırılma basınç gerilmeleri deneysel olarak bulunmuş ve bu sonuçlara göre kırılma yüklerinde boyut etkisi parametreleri hesaplanarak eğriler çizilmiştir.
- Boyut etkisinin varlığı, farklı büyüklükteki küp örnekleriyle yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan açıkça görülmüştür.

Yani, artan boyut ile gerilme azalır. Küp numunelerde en yüksek mukavemet değerinin 5x5x5 cm'lik küp numunelerde, en düşük mukavemet değerinin ise 20x20x20 cm'lik küp numunelerde ulaşılmıştır.

- Elde edilen bu sonuçlar ışığında küp numune basınç dayanım sonuçları beklendiği gibi Bazant ve Carpinteri tarafından önerilen boyut etkisi yasası ile uyumludur.
- Analiz sonuçlarına göre çizelgeler ve eğriler incelendiğinde, küp numunelerinin ortalama dayanım sonuçlarına bakılarak boyut etkisinin varlığı görülmektedir. Regresyon analizi sonucunda, Bazant ve Carpinteri'nin boyut etkisi teorisine uygun küp örneklerinin ortalama dayanım sonuçlarından ve regresyon eğrilerinden de anlaşılacağı gibi boyut etkisinin varlığına ulaşılmıştır.
- Basınç dayanımı numune boyutuna ve şekline göre değişir. Bu değişimde numune boyutunun artmasıyla mukavemetin azaldığı gözlemlenmiş ancak bu görüşün aksine küçük boyutlu küp numunelerde değerler elde edilmiştir. Beton sınıfı arttıkça numune boyutları arasındaki dayanım farkı azalmaktadır.
- Basınç testlerinde küçük boyutlu numunelerin kullanılmasının avantajlarının yanı sıra yüksek dayanımlı betonlarda kullanılması diğer boyutlu numunelere göre daha fazla etkiye maruz kalmasına neden olabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın deneysel çalışmalarına katkı sağlayan Samsun Betonsa Hazır Beton Santrali Laboratuvar çalışanlarına, Karayolları 7.Şube Müdürlüğü Araştırma Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Kaynakça

- Koç, V., Şener, S., (2003). "Lifli Beton Çift Konsolun Basınç Göçmesinde Boyut Etkisi", Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, TÜBİTAK, Konya,169-172.
- Koç V., Şener S., (2003). "Hafif ve normal betondan yapılmış çift konsol numunelerin basınç göçmesinde boyut etkisi", Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul, 137-141,
- Koç V., Şener S., (2004). "Eksenel doğrultuda basınç yüklü çift konsollarda boyut etkisi", Advances in Civil Engineering, 6th International Conference, Boğaziçi Ün., İstanbul, 531-540,
- Bazant, Z. P., and Planas, J. (1998). "Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials", CRC Press, Boston, 135-155,
- Aydın, H. (2010). "Farklı Dayanımlı Silindir ve Küp Beton Numunelerde Boyut Etkisinin İncelenmesi". Y. Lisans Tezi.Fen Bilimleri Enstitüsü, OMÜ, Samsun, Turkey
- TS500, (2000). "Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- Bazant, Z. P., and Sun, H. H., (1987). "Size effect of diagonal shear failure; effect of aggregate size and stirrups.", ACI Materials Journal, 84(4): 259-272, 1987.
- Koç V., (2007). "Beton boyut etkisi ve kırılma parametrelerinin tespiti", BAÜ FBE Dergisi, Cilt:9, Sayı:2,150-166, Aralık
- Doğangün, A. (2002). Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. Birsan Kitabevi, 94-95s, İstanbul.
- Şanal, İ. (2018). "Beton Basınç Dayanım Testlerinde Küçük Ebatlı Küp Beton Numunelerin Yaygın Kullanımı İçin Şekil-Boyut Etkisinin Detaylı İncelenmesi", Dokuz Eylül

- Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 20, Sayı 58, Ocak,
- Hillerborg, A. (1983). Analysis of one single crack, In G-18, 223-249.
- ACI Report Committee 446, (1992). "Fracture mechanics of concrete: concepts, models and determination of material properties", In Fracture Mechanics of Concrete Structures, Z.P. Bazant, *Elsevier Applied Science*, London, 1-140
- Shah, S. P., Swartz, S. E., Ouyang, C., (1995). "Fracture mechanics of concrete: applications of fracture mechanics to concrete, rock, and other quasibrittle materials", *John Wiley & Sons, Inc.*, New York, 1-35
- Van Mier, J.G.M., (1997). "Fracture processes of concrete, assessment of material parameters for fracture models", *CRC Press*, London, 1-78.
- Erdoğan, F. (2000). "Fracture mechanics", *International Journal of Solids Structures*, 37: 171-183
- Hawkins, N. M., (1984). "The role for fracture mechanics in conventional reinforced concrete design", *NATO workshop of Fract. Mech.*, Northwestern Univ., Evanston III, 115-168.
- Carpinteri, A., (1988). "Decrease of apparent tensile and bending strength with specimen size: two different explanations based on fracture mechanics",
- Carpinteri, A., Chiaia, B., Ferro, G., (1994). "Multifractal scaling law for the nominal strength variation of concrete structures in size effect in concrete structures", *E&FN Spon*, London, 193-206
- Tuhta, S., Günday, F., Aydın, H., (2020)." Example For Nonlinear System Identification Of Model Masonry Retaining Wall With Hammerstein-Wiener Models", Proceeding of A Multidisciplinary International Scientific Conference on Science, Technology, Education and Humanities Hosted from Ukraine, www.econferenceglobe.com, November 30th,
- Tuhta S., Günday F. (2020). "Dynamic Parameters Determination of Concrete Terrace Wall with System Identification Using ANN", *JournalNX*, 9 / 2020
- Koç, V., & Tuhta, S. (2012). "Asma Katlı Kat Çıkmalı ve Asmolen Döşemeli Yapıların Depremsel Davranışı". Presented at the "Samsun İlinin Deprem Riski ve Alınabilecek Önlemler Sempozyumu".
- Koç, V., & Tuhta, S. (2012). "Depremler Sonrası Zemin Katlarda Görülen Çökmelerin İncelenmesi". Presented at the Samsun İlinin Deprem Riski ve Alınabilecek Önlemler Sempozyumu.
- Tuhta, S., Günday, F., Aydın, H., & Pehlivan, N. Ç. (2019). "Investigation of CFRP Retrofitting Effect on Masonry Dome on Period and Frequency Using Finite Element Method". Presented at the International Disaster and Resilience Congress (idRc 2019), Eskişehir.
- Tuhta, S., Günday, F., Aydın, H., & Pehlivan, N. Ç. (2019). "Investigation of CFRP Retrofitting Effect on Masonry Dome on Stress Using Finite Element Method". Presented at the International Disaster and Resilience Congress (idRc 2019), Eskişehir.
- Akkaya, Y., Bayramov, F., Taşdemir, M., (2003). "Betonun Kırılma Mekanikliği; Tasarımda Kullanılan Mekanik Özellikler ile Kırılma Parametreleri arasındaki Bağlılıklar". *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı :426-2003/4
- Koç, V., & Birinci, F. (2013). Lifli Beton Boyut Etkisi Tokluk ve Kırılma Enerjisi. *International Journal of Technological Science*, 4(3), 24-40.
- Neville A. M., (1956) The influence of size of concrete test cubes on mean strength and standard deviation *Magazine of Concrete Research* (8) 101-110.
- Sabins G M 1979 MIRZA S M. Size Effects in Model Concrete *Journal of the Structural Division* 105 (ST6) 1007-1020
- Yang C Q and Wu Z., (1997) Study on strength dimension effect and deformation characteristics of full-grade concrete *Journal of Dalian University of Technology* 37 (suppl. 1) 129-134.
- Chen W, Peng G and Zhou H Q. (2014). Stress-strain analysis of uniaxial tests of concrete of different sizes under different strain rates *Hydropower Energy Science* 32(03) 134-137.
- Che, Y., Ban, S. L., Cui, J. Y., Chen, G., & Song, Y. P. (2010). Effect of Specimen Shape and size on Compressive Strength of Concrete. *Advanced Materials Research*, 163-167, 1375-1379. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.163-167.1375>
- Weibull W., (1939). Phenomenon of Rupture in Solids *Proc. Royal Swdeish. Inst. Of Engineering Research* (153) 1-55
- Harrison Frederick Gonnerman ,1925, Effect of size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete, Bulletin 16, Structural materials research laboratory, Lewis institute, Structural materials research laboratory, Virginia Üniversitesi Chicago
- Jin-Keun Kim., (1990). Size effect in concrete specimens with dissimilar initial cracks, *Magazine of Concrete Research* ISSN 0024-9831 | E-ISSN 1751-763X , Volume 42 Issue 153, December 1990, pp. 233-238



CO₂ Methanation over Ni-Sepiolite Catalysts

Tuğba Yarbaş¹, Nezihe Ayas^{2*}

¹ Bilecik Seyh Edebali University, Institute of Graduate Programs, Chemical Engineering Department, Bilecik, Turkey, (ORCID: 0000-0002-4560-214X), tugba.yarbas@bilecik.edu.tr

^{2*} Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Chemical Engineering Department, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5166-1461), nazcan@eskisehir.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015748)

ATIF/REFERENCE: Yarbaş, T. & Ayas, N. (2021). CO₂ Methanation over Ni-Sepiolite Catalysts. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1399-1403.

Abstract

In this study, it was aimed to develop new catalysts to increase the conversion of environmentally harmful carbon dioxide gas to methane which is a valuable fuel. By using a natural clay mineral sepiolite (SEP) as support material; 6-8% (weight-weight) Ni-containing catalysts were prepared by impregnation. Catalysts were characterized by XRD and FT-IR analysis. Reaction conditions of catalytic hydrogenation of carbon dioxide for methane production were determined as: H₂/CO₂ = 4 molar ratio, the temperature range of 300-600°C at atmospheric pressure. The output gas mixture was analyzed using the µGC. The activities of the catalysts were determined in terms of carbon dioxide conversion and methane selectivity. 6%Ni/SEP and 8%Ni/SEP provided 65.76% and 68.42% carbon dioxide conversion at 400°C, respectively. In addition, both catalysts exhibited high methane selectivity at 300 and 400°C (>98%).

Keywords: CO₂ methanation, Sepiolite, Nickel, Impregnation, Catalyst.

Ni-Sepiolit Katalizörler Üzerinde CO₂ Metanasyonu

Öz

Bu çalışmada çevreye zararlı karbondioksit gazının değerli bir yakıt olan metana dönüşümünü artırmak için yeni katalizörlerin geliştirilmesi amaçlandı. Destek malzemesi olarak doğal bir kil minerali olan sepiolit (SEP) kullanılarak; %6-8 (ağırlık-ağırlık) Ni içeren katalizörler emdirme yöntemiyle hazırlandı. Katalizörler, XRD ve FT-IR analizi ile karakterize edildi. Karbon dioksitin katalitik hidrojenasyonu ile metan üretimi için reaksiyon koşulları şu şekilde belirlendi: H₂/CO₂ = 4 molar oranı; atmosfer basıncında 300-600°C sıcaklık aralığı. Çıkış gaz karışımı µGC kullanılarak analiz edildi. Katalizörlerin aktiviteleri karbondioksit dönüşümü ve metan seçiciliği açısından belirlendi. %6Ni/SEP ve %8 Ni/SEP, 400°C'de sırasıyla %65,76 ve %68,42 karbondioksit dönüşümü sağladı. Ek olarak, her iki katalizör de 300 ve 400°C'de (>%98) yüksek metan seçiciliği sergiledi.

Anahtar Kelimeler: CO₂ metanasyonu, Sepiyolit, Nikel, Emdirme, Katalizör.

* Corresponding Author: nazcan@eskisehir.edu.tr

1. Introduction

Due to its environmental effects, the issue of converting carbon dioxide into valuable products is becoming more important today. Methane, as the main component of natural gas, has an important place in energy consumption in daily life. The conversion of carbon dioxide to methane by catalytic hydrogenation represents only one reaction of the Fischer-Tropsch synthesis, which is a highly complex process. Therefore, catalyst selection and optimization of reaction conditions are very important to increase conversion of carbon dioxide to methane (Stangeland, Kalai, Li, & Yu, 2017).

Ni catalysts, known to increase efficiency in hydrogenation reactions, are used to obtain methane (Jayan, Anand, & Stephen, 2017).

Sepiolite (SEP) is a suitable clay mineral for using as catalyst support with its porosity, high stability, suitable surface area, tetrahedral and octahedral layers and fibrous structure and the presence of surface Si-OH groups (Kurtaran Ersal, 2013), (Corma, García, Leyva, & Primo, 2004).

Studies about development of sepiolite supported Ni catalysts and use them in carbon dioxide methanation is very few in the literature (Cerdá-Moreno, Chica, Keller, Rautenberg, & Bentrup, 2020). The SEP supported catalysts in this study were prepared with different nickel contents from the literature. In addition, the efficiency of SEP catalysts in the conversion of carbon dioxide to methane was investigated in the temperature range of 300-600°C, unlike the literature examining the range of 250-450°C (Cerdá-Moreno et al., 2020).

In this study, SEP catalysts containing 6% and 8% Ni by weight were prepared using the impregnation method. XRD and FT-IR characterization studies were carried out for catalysts and investigated their efficiency in carbon dioxide methanation process at atmospheric pressure.

2. Material and Method

2.1. Catalyst Preparation

2.1.1. Pretreatment of Sepiolite

Raw SEP in stone form was obtained from Eskişehir region. Grinding, washing, filtering and drying processes were applied to the raw SEP, respectively. It was calcined at 900°C. After calcination, it was treated with nitric acid solution to increase porosity and remove impurities. Finally it was washed until neutral, filtered and dried in an oven (Yurdakul, 2015).

2.1.2. Synthesis of Impregnated Catalyst

Calculated amount of nickel nitrate ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) solution was added onto the pretreated SEP. After mixing and drying it was calcined at 500°C for 4 hours under dry air flow. Impregnated catalysts were named as 6%Ni/SEP and 8%Ni/SEP based on their Ni content (Xie et al., 2017), (Esen, 2016).

2.2. Characterization

XRD patterns of catalysts were recorded by using a Rigaku MiniFlex600 X-Ray diffractometer in the 2θ range of 5°–80° (Cu $K\alpha$ radiation at 40Kv, step size: 0.04°).

FT-IR (Fourier transform infrared) spectroscopy was performed to detect functional groups with a Thermo Science Nicolet IS10. ATR technique was used and spectra were recorded between 4000-650 cm^{-1} wavenumbers.

2.3. Reaction Conditions

Reaction studies were carried out in Microactivity Effi system using a quartz reactor (ID: 10 mm, OD: 12 mm, L: 370 mm). N_2 was used as the carrier gas. The $\text{H}_2/\text{CO}_2 = 4$ molar feed ratio was used and the total gas flow rate was 40 mL/min. 0.5 grams of catalyst (SiC was added until it filled 2 mL volume) was put into the reactor for each experiment, and the in-situ reduction was performed at 400°C under H_2 flow (30 mL/min) for 1 hour before each experiment. The prepared Ni/SEP catalysts were used in the conversion of carbon dioxide to methane at atmospheric pressure and the temperature of 300, 400, 500, 600°C. The composition of the gas products were determined by the online μGC directly connected to the Microactivity Effi system. A very small amount of liquid product were not analyzed and not included in the CH_4 selectivity calculation.

2.4. Conversion and Selectivity of Catalysts

The following equations were used to calculate the carbon dioxide conversion (X_{CO_2}) (Eq. 1) and methane selectivity (S_{CH_4}) (Eq. 2) of catalysts, respectively (Quindimil, Bacariza, González-Marcos, Henriques, & González-Velasco, 2021):

$$X_{\text{CO}_2} (\%) = \frac{F_{\text{CO}_2, \text{in}} - F_{\text{CO}_2, \text{out}}}{F_{\text{CO}_2, \text{in}}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$S_{\text{CH}_4} (\%) = \frac{F_{\text{CH}_4, \text{out}}}{F_{\text{CH}_4, \text{out}} + F_{\text{CO}, \text{out}} + F_{\text{C}_2\text{H}_4, \text{out}} + F_{\text{C}_2\text{H}_6, \text{out}} + F_{\text{C}_3\text{H}_6, \text{out}} + F_{\text{C}_3\text{H}_8, \text{out}}} \cdot 100 \quad (2)$$

Where $F_{X, \text{in}}$ and $F_{X, \text{out}}$ (mL/min) symbolize the amount of X species in feed and product, respectively. The amount of catalyst loaded into the reactor and discharged at the end of the reaction were weighed. There were no significant difference between the two measurements which amount of catalyst at before and after reaction. Further the $\text{H}_2/\text{CO}_2 = 4$ molar ratio was used in the feed. Therefore possible C accumulation was neglected. C(s) is not included in the selectivity calculations.

3. Results and Discussion

3.1. Characterization Results

The XRD diffraction patterns and FT-IR spectra of the catalysts are shown in Fig. 1 and Fig. 2, respectively.

Peaks observed in Fig. 1 in the range of $2\theta = 21^\circ$ and 26° indicate the presence of the quartz SiO_2 phase (Kurtoğlu et al., 2018). In addition, the peaks observed at $2\theta=35^\circ$ and 67° in both samples also represent SiO_2 (Xie et al., 2017), (Shi et al., 2017), (Lu et al., 2015) and $2\theta = 37, 43, 63, 75$ and 80° peaks are interpreted as NiO (Darouhegi Mofrad, Rezaei, & Hayati-Ashtiani, 2019; Dong et al., 2020; Graça et al., 2014; Jiang, Huang, Dong, Qin, & Ji, 2018; Quindimil, De-La-Torre, Pereda-Ayo, González-Marcos, & González-Velasco, 2018). The characteristic peak of raw SEP expected to be observed at $2\theta = 7.3^\circ$ (12.04Å) (Akçay, 2004; Güngör et al., 2006; Meşe, Kantürk Figen, Coşkuner Filiz, & Pişkin, 2018) was not observed in the samples.

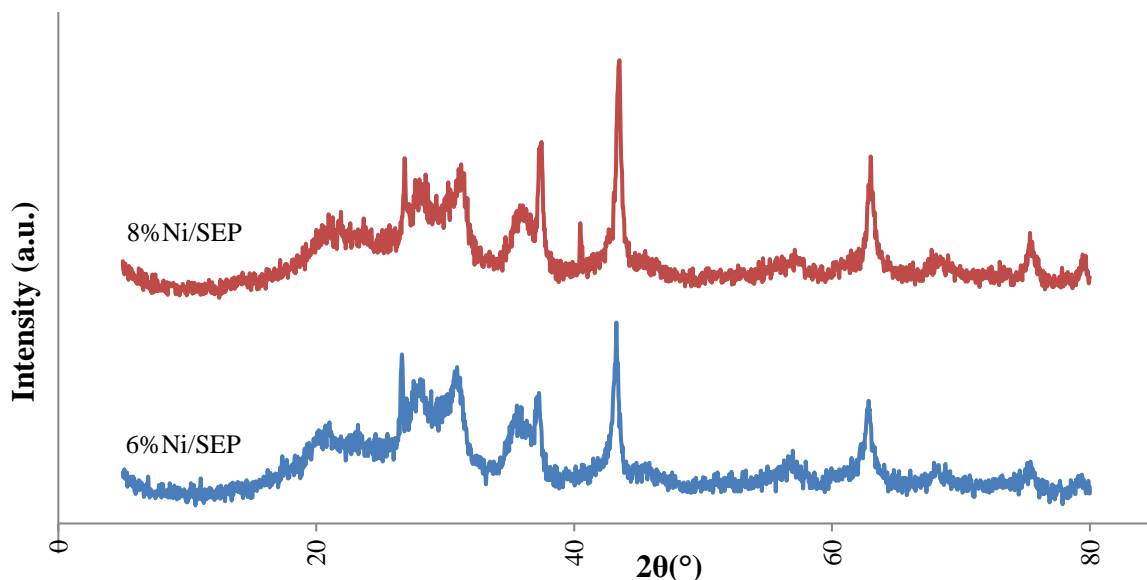


Fig. 1. XRD patterns of catalysts

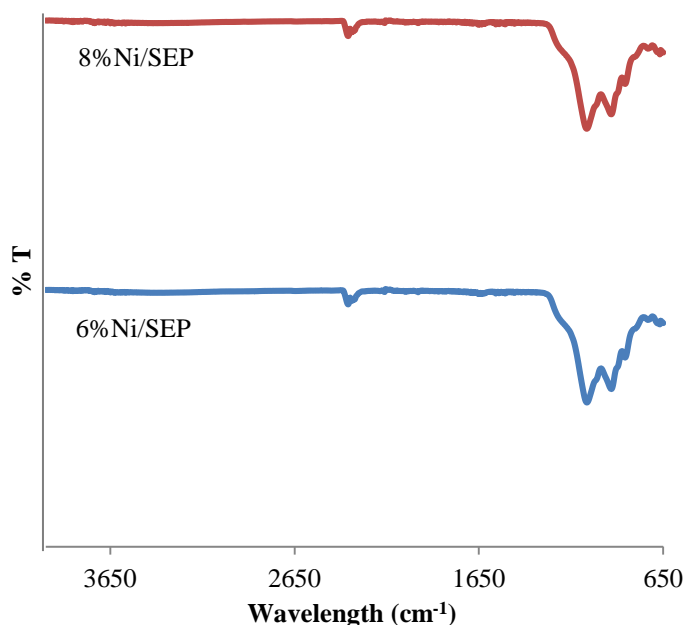


Fig. 2. FT-IR spectra

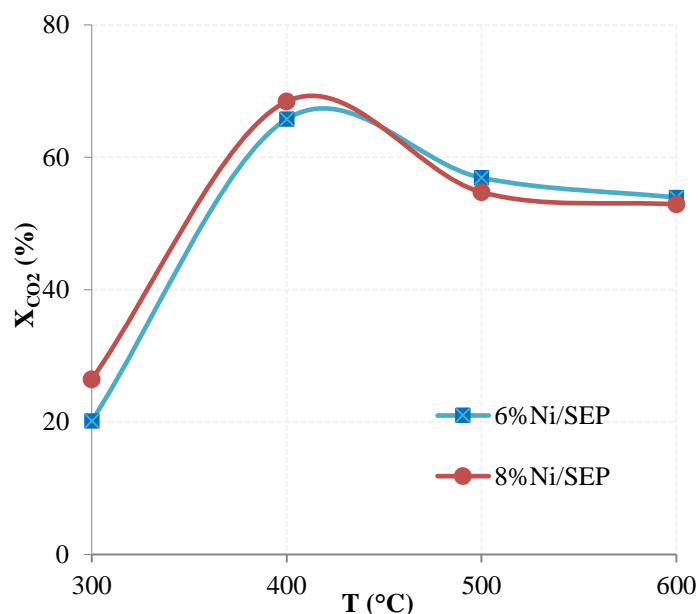
This is thought to be due to the pre-treatment of the raw SEP and followed by impregnation.

As seen in Fig. 2, the FT-IR spectra of the samples are almost the same. The 3570 cm^{-1} band seen in both samples shows the vibrations of the structural -OH groups (Meşe et al., 2018). The 1614 cm^{-1} band can be interpreted as H-O-H vibrations in the water molecule (Meşe et al., 2018), (Kıpçak & Kalpazan, 2020).

The adsorption force at the 1010 cm^{-1} is due to the SiO_2 bending vibrations of the tetrahedral layer. The peak seen at 784 cm^{-1} in both samples can be interpreted as Si-O vibrations in the quartz SiO_2 phase which also detected in the XRD (Kıpçak & Kalpazan, 2020). The wavelengths of 850 cm^{-1} and $703\text{-}720\text{ cm}^{-1}$ represent Si-O vibrations originating from SEP (Meşecikli Cansev, 2014).

3.2. Catalytic Activity Results

The carbon dioxide conversions of the catalysts in the methanation process were calculated according to Eq. 1 and are shown in Fig. 3.

Fig. 3. CO_2 conversion of catalysts

The 6%Ni/SEP and 8%Ni/SEP catalysts showed similar X_{CO_2} results with minor differences (Fig 3). 6%Ni/SEP yielded 20.18% and 65.76% carbon dioxide conversion at 300 and 400°C, respectively. 8%Ni/SEP provided 26.45% and 68.42% CO_2 conversion at 300 and 400°C, respectively. Higher Ni content of 8%Ni/SEP catalyst increased the carbon dioxide conversion at 300 and 400°C. Therefore, it can be said that 8% Ni/SEP for 300 and 400°C is more effective in terms of X_{CO_2} . 6% Ni/SEP yielded slightly higher carbon dioxide conversion than 8% Ni/SEP at 500 and 600°C (6%Ni/SEP provided 56.81% and 53.95% conversions; 8%Ni/SEP provided 54.73% and

52.87% conversions at 500 and 600°C, respectively). However, both catalysts reached their highest X_{CO_2} values at 400°C.

The calculated methane selectivity of the catalysts by using Eq. 2 in the temperature range of 300-600°C is given in Fig. 4.

Both catalysts provided almost completely methane selectivity (>98%) at 300 and 400°C. However, the selectivity began to decrease when 400°C was exceeded. This can be explained by the fact that endothermic reactions in the carbon dioxide hydrogenation process such as Reverse Water-Gas Shift (RWGS) ($CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2$) and methane cracking ($CH_4 \rightleftharpoons C + 2H_2$) begin to occur with increasing temperature.

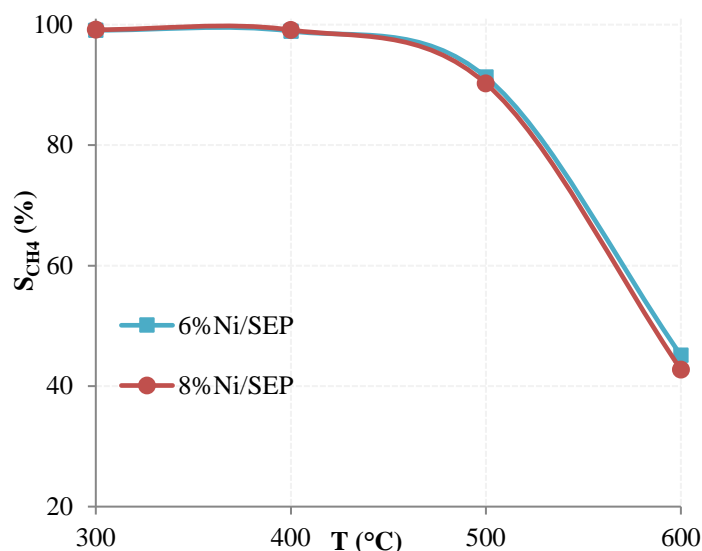


Fig. 4. CH₄ selectivity of catalysts

When Figures 3 and 4 are examined together, it is seen that the optimum operating temperature for both catalysts is 400°C.

4. Conclusions and Recommendations

The characterization results of the catalysts are compatible with the literature and it seems appropriate to use SEP as a catalyst support.

Very few Ni-containing SEP catalysts have been used in the methanation of carbon dioxide in the literature. Therefore, the results are remarkable. Both catalysts showed the highest efficiency at 400°C. There are many studies in the literature in which carbon dioxide methanation was carried out at 400°C (Cerdá-Moreno et al., 2020), (Xie et al., 2017), (Danaci et al., 2016), (Li et al., 2018). In this regard, the determined operating temperature is consistent.

In the literature, there is a study in which 5%Ni/sep catalyst prepared by the incipient wetness impregnation (IWI) method is used in the methanation of carbon dioxide (Cerdá-Moreno et al., 2020). In (Cerdá-Moreno et al., 2020), 5%Ni/sep catalyst provided 73% carbon dioxide conversion and 97% methane selectivity at 400°C ($H_2/CO_2=4$, atmospheric pressure). In our study, 6%Ni/SEP reached 65.76% (X_{CO_2}) and 98.93% (S_{CH_4}) values at the same temperature. The differences between the results are interpreted to be due to differences in used SEP, catalyst preparation, amount of catalyst, reduction temperature and GHSV.

8%Ni/SEP achieved a higher CO₂ conversion than 6%Ni/SEP at 400°C. This result is expected due to the higher Ni content of 8%Ni/SEP.

The selectivity curves of both catalysts are almost identical and are above 98% at temperatures of 300-400°C. Therefore, the X_{CO_2} curves are decisive. According to Fig. 3, the optimum condition in this study is the use of 8%Ni/SEP at 400°C (Applicable when all the other conditions are constant: 0.5 grams of catalyst, same reduction conditions, $H_2/CO_2 = 4$, atmospheric pressure, GHSV = 3600 mL.gcat⁻¹.h⁻¹ etc.).

References

- Akçay, M. (2004). FT-IR spectroscopic investigation of the adsorption pyridine on the raw sepiolite and Fe-pillared sepiolite from anatolia. *Journal of Molecular Structure*, 694(1-3), 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2004.01.010>
- Cerdá-Moreno, C., Chica, A., Keller, S., Rautenberg, C., & Bentrup, U. (2020). Ni-sepiolite and Ni-todorokite as efficient CO₂ methanation catalysts: Mechanistic insight by operando DRIFTS. *Applied Catalysis B: Environmental*, 264(July 2019), 118546. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.118546>
- Corma, A., García, H., Leyva, A., & Primo, A. (2004). Alkali-exchanged sepiolites containing palladium as bifunctional (basic sites and noble metal) catalysts for the Heck and Suzuki reactions. *Applied Catalysis A: General*, 257(1), 77-83. [https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(03\)00635-5](https://doi.org/10.1016/S0926-860X(03)00635-5)
- Danaci, S., Protasova, L., Lefevre, J., Bedel, L., Guilet, R., & Marty, P. (2016). Efficient CO₂ methanation over Ni/Al₂O₃ coated structured catalysts. *Catalysis Today*, 273, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2016.04.019>
- Darouhegi Mofrad, B., Rezaei, M., & Hayati-Ashtiani, M. (2019). Preparation and characterization of Ni catalysts supported on pillared nanoporous bentonite powders for dry reforming reaction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(50), 27429-27444. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.194>
- Dong, N., Ye, Q., Chen, M., Cheng, S., Kang, T., & Dai, H. (2020). Sodium-treated sepiolite-supported transition metal (Cu, Fe, Ni, Mn, or Co) catalysts for HCHO oxidation. *Chinese Journal of Catalysis*, 41(11), 1734-1744. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(20\)63599-9](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(20)63599-9)
- Esen, T. (2016). *Heterojen Katalizör Sentezi ve Çay Atığından Termokimyasal Süreçler ile Hidrojen Zengin Gaz Ürün Eldesi*. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Graça, I., González, L. V., Bacariza, M. C., Fernandes, A., Henriques, C., Lopes, J. M., & Ribeiro, M. F. (2014). CO₂ hydrogenation into CH₄ on NiHNaUSY zeolites. *Applied Catalysis B: Environmental*, 147, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.08.010>
- Güngör, N., Işçi, S., Günister, E., Mišta, W., Teterycz, H., & Klimkiewicz, R. (2006). Characterization of sepiolite as a support of silver catalyst in soot combustion. *Applied Clay Science*, 32(3-4), 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.03.005>

- Jayan, A., Anand, K., & Stephen, J. (2017). An Overview of Ferrous and Cobalt Catalysts Used in the Conversion of Synthetic Gas to Fuels. *International Journal of ChemTech Research*, 10(4), 494–505.
- Jiang, Y., Huang, T., Dong, L., Qin, Z., & Ji, H. (2018). Ni/bentonite catalysts prepared by solution combustion method for CO₂ methanation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 26(11), 2361–2367. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.03.029>
- Kıpçak, İ., & Kalpazan, E. (2020). Preparation of CoB catalysts supported on raw and Na-exchanged bentonite clays and their application in hydrogen generation from the hydrolysis of NaBH₄. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(50), 26434–26444. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.230>
- Kurtaran Ersal, E. (2013). *Sepiolit ile Sulu Çözeltilerden Ni(II) İyonunun Giderilmesi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kurtoğlu, S. F., Sarp, S., Yılmaz Akkaya, C., Yağcı, B., Motallebzadeh, A., Soyer-Uzun, S., & Uzun, A. (2018). CO_x-free hydrogen production from ammonia decomposition over sepiolite-supported nickel catalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(21), 9954–9968. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.057>
- Li, W., Nie, X., Jiang, X., Zhang, A., Ding, F., Liu, M., ... Song, C. (2018). ZrO₂ support imparts superior activity and stability of Co catalysts for CO₂ methanation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 220(August 2017), 397–408. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.08.048>
- Lu, X., Gu, F., Liu, Q., Gao, J., Liu, Y., Li, H., ... Su, F. (2015). VO_x promoted Ni catalysts supported on the modified bentonite for CO and CO₂ methanation. *Fuel Processing Technology*, 135, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.10.009>
- Meşe, E., Kantürk Figen, A., Coşkuner Filiz, B., & Pişkin, S. (2018). Cobalt-boron loaded thermal activated Turkish sepiolite composites (Co-B@tSe) as a catalyst for hydrogen delivery. *Applied Clay Science*, 153(September 2017), 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.12.008>
- Meşecikli Cansev, H. (2014). *Modifiye Edilmiş Sepiyolit Üzerine Pb(II), Cu(II) Ve Cd(II) İyonlarının Adsorpsiyonu*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Quindimil, A., Bacariza, M. C., González-Marcos, J. A., Henriques, C., & González-Velasco, J. R. (2021). Enhancing the CO₂ methanation activity of γ -Al₂O₃ supported mono- and bi-metallic catalysts prepared by glycerol assisted impregnation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 296, 120322. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120322>
- Quindimil, A., De-La-Torre, U., Pereda-Ayo, B., González-Marcos, J. A., & González-Velasco, J. R. (2018). Ni catalysts with La as promoter supported over Y- and BETA- zeolites for CO₂ methanation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 238(July), 393–403. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.07.034>
- Shi, J., Li, Y., Zhang, Q., Ma, X., Duan, L., & Zhou, X. (2017). CO₂ capture performance of a novel synthetic CaO/sepiolite sorbent at calcium looping conditions. *Applied Energy*, 203, 412–421. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.050>
- Stangeland, K., Kalai, D., Li, H., & Yu, Z. (2017). CO₂ Methanation: The Effect of Catalysts and Reaction Conditions. *Energy Procedia*, 105(1876), 2022–2027. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.577>
- Xie, T., Wang, J., Ding, F., Zhang, A., Li, W., Guo, X., & Song, C. (2017). CO₂ hydrogenation to hydrocarbons over alumina-supported iron catalyst: Effect of support pore size. *Journal of CO₂ Utilization*, 19(March), 202–208. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.03.022>
- Yurdakul, M. (2015). *Biyokütleden Hidrojen Eldesinde Kullanılan Katalizörlerinin Sentezi ve Karakterizasyonu*. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.



Su Ortamından Mikroplastik Giderimine Genel Bakış

Olca Gülççek Uysal^{1*}

^{1*}Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9032-4241), olcayozer@mersin.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015586)

ATIF/REFERENCE: Gülççek Uysal, O. (2021). Su Ortamında Mikroplastik Giderimine Genel Bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1404-1409.

Öz

Plastik ürünler dünya çapında çoğu toplum tarafından kullanılmaktadır ve bunların üretimi, ilk ticari gelişmelerinden bu yana önemli ölçüde artmıştır. 5 mm'den küçük partiküller mikroplastik olarak tanımlanır. Son yılların en önemli kirleticisi haline gelen mikroplastikler, ekosistemin tüm kompartımanlarında ciddi birikim ve tehlikeye neden olmaktadır. Bu çalışma ile mikroplastiklerin yapısı ve bugüne kadar su ortamından giderimi üzerine yapılmış çalışmaların sonuçları ve karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik Kirliliği, Giderim Yöntemleri, Sucul Ortam.

Overview of Microplastic Removal From the Aquatic Environment

Abstract

Plastic products are used by most societies worldwide and their production has increased dramatically since their initial commercial development. Particles smaller than 5 mm are defined as microplastic. Microplastics, which have become the most important pollutant in recent years, cause serious accumulation and danger in all compartments of the ecosystem. In this study, the results and comparisons of the studies on the structure of microplastics and their removal from the aquatic environment until today were made

Keywords: Microplastic Pollution, Removal Methods, Aquatic Environment.

* Sorumlu Yazar: olcayozer@mersin.edu.tr

1. Giriş

Doğaya ulaşan plastiklerin parçalanması, bozunması ile oluşan 5 mm boyutundaki plastikler mikroplastik olarak adlandırılmaktadır [1]. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda mikroplastiklerin okyanus sedimentlerinde [2], yüzey sularında [3,4] var olduğunu ortaya koymuştur. Tüm bunların yanında, mikroplastiklerin buldukları su ortamlarında var olan canlılar tarafında kullanıldığı ve bünyelerinde biriktirdiği de tespit edilmiştir[5].

Mikroplastikler, ev ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılan hammaddeler olan birincil mikroplastikler ve ham plastik parçacıkların çevrede fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerle bozunmasından kaynaklanan ikincil mikroplastikler olarak sınıflandırılmaktadır [6].

Mikroplastiklerin uzun süreli dayanıklılık, polimerik yapıları ve farklı habitatlar arasında kolay taşınması nedeniyle kontrol altına alınması gereken bir kirletici olduğunu ortaya koyar. Plastik, petrokimya sanayiinde, petrol esaslı ürün veya yan ürünler ile doğal gazı hammadde olarak kullanıp bunların kimyasal dönüşümleri ile elde edilen önemli madde gruplarından birisidir. Bu nedenle plastik sanayisini, petrokimya sanayisinin bir alt sektörü olarak görmek mümkündür. Kullanım kolaylığı, ucuzluk, dayanıklılık, kolay işlenebilirlik vb. özelliklerinden dolayı kağıt, karton, cam, demir: pamuk, keten vb. hammaddelerden üretilen ürünlerin yerini alan plastik ürünleri, diğer taraftan da enerji dağıtımı, sulama, kanalizasyon, ulaşım gibi projelerde önemli ölçüde kullanım alanı bulunmaktadır [7]. Başlıca ham polimerler arasında polietilen tereftalat (PET), poliüretan (PU), polistiren (PS), polivinilklorür (PVC), polipropilen (PP), polyesterler, polietilen (PE) ve poliamid (PA, naylon) bulunur. [8].

Bu çalışmada mikroplastiklerin sucul ortamdan gideriminde bugüne kadar kullanılan yöntemlerin kısaca özetleri ve etkinliği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Mikroplastik, Polimerler Ve Katkı Maddeleri, Kaynakları

Mikroplastikler birinci ve ikincil olarak iki ana kaynağa ayrılırlar. Birincil mikroplastikler kozmetik ve temizlik ürünlerinden gelen polimerik partiküller, plastik ürünlerin üretiminde kullanılan hammaddeler ve hava püskürtme için kullanılan plastik topraklar veya tozlar [9]; atmosferik koşullar altında, örneğin mekanik bozunma ve UV ışığına maruz kalma gibi, daha büyük plastik parçaların aşamalı olarak parçalanarak ikincil mikroplastikleri oluştururlar [10]. Mikroplastiklerin yüzey alanlarının geniş olmasından dolayı buldukları ortamlarda birikme, yoğunluklarının düşük olmasından dolayı da rüzgârlar, akıntılar ile yüzerek taşınma eğilimindedirler [11].

Yapılan çalışmalar atık su arıtma tesislerinin de önemli bir mikroplastik kaynağı olduğuna dikkat çekmektedir [12,13]. Dünya genelinde çok sayıda arıtma tesisinin okyanus ve deniz suyu yakınında yer alması nedeniyle de, tesislerin önemli miktarlarda mikroplastik salım kaynağına neden olduğunu göstermektedir. Birçok araştırmacı su arıtma tesislerinde

mikroplastiklerin akıbetini, oluşumunu, tespitini ve uzaklaştırılmasını araştırmaktadır [5,14,15].

Deniz ve okyanuslara ulaşan mikroplastiklerin ana kaynakları, tatlı sular ve karasal ortamlardır. Yapılan araştırmalar nehirler yoluyla okyanuslara ulaşan mikroplastik çöpün toprakta bulunan partiküller içerdiğini ortaya çıkarmıştır [16]. Bu sonuçlar bazı karasal ve tatlı su alanlarındaki yüksek mikroplastik konsantrasyonlarının kanıtı olduğu gibi, tatlı suların ve toprağın da mikroplastik biriktiren alanlar olduğunu göstermiştir [17].

Gübre olarak kanalizasyon çamurunun kullanıldığı tarım topraklarının derin katmanlarında (~25 cm) bulunan mikroplastik liflere rastlanılmış olup [18], katı ortamda da dayanıklı liflerin derinlere taşınabileceğini göstermiştir [19]. Akış halinde olan nehir sistemlerine bakıldığında ise, akış ile taşınan mikroplastiklerin nehrin enerjisinin düştüğü yerlerde çökme eğilimi göstereceği öngörülmüştür [20].

Mikroplastiklerin farklı şekillerde, küçük boyutlu, hafif ve düşük yoğunlukta oluşu; kanalizasyon, rüzgar ve diğer doğal akımlar tarafından karada ve su sistemleri içinde uzun mesafeler boyunca yaygın olarak taşınmasına ve kolay dağılmasına katkıda bulunmaktadır [21].

Ayrıca, tırtıklı geometriye ve keskin uçlara sahip düzensiz şekilli mikroplastikler, yüzeye geri dönmek yerine su altında daha fazla tutulurken, küresel parçacıklar yüzeyde kalma konusunda daha yüksek bir eğilim gösterir [22].

3. Mikroplastiklerin Gideriminde Sorpsiyon Ve Filtrasyon Yöntemleri

3.1. Yeşil Algler ile Adsorpsiyon

Mikroplastiklerin dayanıklılıkları ve düşük bozunabilirlik özelliklerinden dolayı, buldukları ortamdan giderimi oldukça önemlidir. Mikroplastiklerin geniş yüzey alanı/hacim oranları, parçalanmaya/bozunmaya karşı olan dayanıklılıkları buldukları su ortamında var olan kirleticileri adsorbe etmeye ve taşımaya elverişli kılar [23]. Sundbaek ve arkadaşları [24], Fucus vesiculosus adlı deniz mikroalginin adsorban olarak kullanıldığı adsorpsiyon deneylerinde, mikroplastik parçacıklarının davranışını incelemişlerdir. Sonuçlar, deniz yosununun kesilmiş yüzeylerinin yakınında yüksek bir mikroplastik sorpsiyonu (~% 94.5) gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu durum, kesilen bölgelerde hücre duvarlarından salınan jelatinimsi, anyonik polisakarit bir madde olan aljinat bileşiklerinin özellikleri sebebi ile açıklanmıştır.

Mikroalglerin küçük plastik parçacıkları adsorplama kapasiteleri üzerine yapılan diğer araştırmalar, mikroplastiklerin yüzey yükünün ve mikroalglerin yüzey karakterlerinin adsorpsiyon veriminde etkili rolün olduğunu vurgulamaktadır [25].

Nolte ve arkadaşları [25] 20-500 nm boyutunda polistiren partiküllerinin, tek hücreli yeşil algler üzerine adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Pozitif yüklü polistiren mikroplastiklerin, alg

yüzeyinde negatif yüklü olanlara göre daha verimli bir şekilde adsorbe edildiği sonucuna varmışlardır. Yapılan çalışmalar, mikroplastiklerin alg yüzeyine adsorpsiyonunun parçacıkların yüzey yüküne bağlı olduğu, pozitif yüklü mikroplastiklerin daha verimli bir şekilde adsorplanma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur.

3.2. Membran Teknolojisini İle Giderim

Li ve arkadaşları [26], mikroplastiklerin sentetik bir atık sudan verimli bir şekilde uzaklaştırılması için dinamik membranların kullandıkları bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sentetik atık suyun filtrelenmesi sırasında 90 µm destek ağırlı bir diatomit platformunda oluşturulan dinamik membranların giderim verimliliğine giriş suyu ve partikül konsantrasyonunun etkisini araştırmışlardır. Giriş için 195 NTU olan bulanıklık değerinin, 20 dakikada çıkış suyunda için 1'in altına düşürülerek mükemmel bir mikroplastik filtrasyonu elde etmişlerdir [21].

Membran biyoreaktörleri, mikro boyutlu plastiklerin çıkarılması için basit dinamik membranlardan daha yüksek kapasite sergilerler [27,28]. Çok çeşitli karmaşık endüstriyel atık suların membran biyoreaktörler tarafından başarılı bir şekilde uzaklaştırılması, bu teknolojinin polimerik artıklar ve mikroplastikler gibi yüksek mukavemetli kirleticilerin arıtılması için de uygun olduğunu onaylamaktadır [29].

Talvit ve arkadaşları [28], membran biyoreaktör, disk filtre, hızlı kum süzme ve çözünmüş hava doldurma dahil olmak üzere gelişmiş son aşama arıtma teknolojilerini kullanarak atık su arıtma tesisi çıkış sularından çeşitli mikroplastik türlerinin giderimini araştırmışlardır. Membran biyoreaktörün, sudaki mikroplastiklerin %99.9'unu şekillerinden bağımsız olarak, uzaklaştırdığını ortaya koymuştur.

Bugüne kadar yapılan çalışma sonuçları membran teknolojilerinin mikroplastikleri su ortamlarından uzaklaştırmak için başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Gözenekli membranların biyolojik işlemlerle kombinasyonu, giderme verimini %99,9'a kadar artırabileceği ortaya konulmuştur.

3.3. Atıksu Arıtma Tesislerinde Gelişmiş Filtrasyon Teknolojileri Kullanılarak Giderim

Lares ve arkadaşları [27], mikroplastiklerin uzaklaştırılması için pilot ölçekli, birleşik membran biyoreaktör-geleneksel aktif çamur metodolojisine dayalı olarak çalışan bir belediye atıksu arıtma tesisinin performansını incelemişlerdir. 3 ay süren çalışmalarında atık su örneklerini Finlandiya'nın Mikkeli şehir merkezinin yanında bulunan bir belediye su arıtma tesisinden temin etmişlerdir. Sonuçları, geleneksel aktif çamur arıtma sistemine (%98.3) kıyasla bir membran biyoreaktör kullanılarak mikroplastiklerin (%99.4) daha iyi uzaklaştırıldığını ortaya koymuştur.

Çin'in Changzhou kentindeki 11 atık su arıtma tesisi çıkış suyunda miktar, renk, şekil ve boyut parametresinin arıtma tesisinin mikroplastikleri giderim verimlilikleri üzerindeki etkisini incelenmiştir [30]. Yüzdürme, çöktürme ve süzme işlemleri gibi çeşitli arıtma adımlarını kullanan tüm tesislerin mikroplastiklerin %90'ından fazlasını sulardan arındırdığını ortaya koymuşlardır.

Giderim verimlerinde değişkenliğe neden olan en önemli nedenler günlük işlem hacmi, ham suyun karakteri ve arıtma proseslerinin türü olabilir. Genel olarak, sorpsiyon ve filtrasyon metodolojileri, mikroplastik içeren atık suların arıtılmasında, esas olarak biyolojik ve çökeltme prosesleri gibi diğer prosedürlerle birlikte iyi bir verimlilik göstermektedir. Daha yüksek giderim verimi elde etmek için, atık su arıtma tesisinde diğer gelişmiş fiziksel-kimyasal arıtmalarla eşzamanlı olarak membran biyoreaktörler kullanılmalıdır.

3.4. Mikroplastik Gideriminde Kimyasal Yöntemler

Dünya çapındaki birçok atık su arıtma tesisi, sudan ayrılması daha kolay olan büyük kirletici partikülleri oluşturmak için koagülasyon ve aglomerasyon proseslerini kullanır [31]. Bu prosesler, kompleksleşme mekanizmaları aracılığıyla küçük parçacıkları bağlamak ve böylece atık parçacıklar arasında güçlü bağlar oluşturmak için Fe ve Al bazlı tuzları ve koagülant kullanımını içerir [32].

Arıza-Tarazona ve arkadaşları [33] demir, alüminyum tuzu ve ultrafiltrasyon kullanarak polietilen mikroplastiklerin sudan giderimini araştırmışlardır. Deneysel Al^{3+} ve Fe^{3+} iyonlarının farklı konsantrasyonları altında gerçekleştirildi ve sonuçlar Al^{3+} 'nın Fe^{3+} 'dan daha iyi performansla sahip olduğunu göstermiştir.

Bu alanda araştırmacılar ayrıca, karıştırmalı, kesikli reaktörde polietilen mikroplastiklerinin giderimi için çamur minimizasyonu, enerji verimliliği, maliyet etkinliği ve otomasyonda esneklik sağlayan sağlam ve çevreyle uyumlu elektrokoagülasyon tekniğini kullanmışlardır [34].

Metal hidroksit koagülantının yerinde oluşumu, suda elektrotlardan salınan Fe^{2+} ve Al^{3+} gibi metal iyonlarının ortamın hidroksil anyonları ile reaksiyonu ile başlatılır. Üretilen koagülantlar kolloidleri parçalar ve asılı mikropartiküllerin yüzey yüklerini stabilize eder, bu da partiküllerin van der Waals kuvvetleri aracılığıyla etkileşimler yapmak için yeterince birbirine yaklaşmasını sağlar [35]. Koagülantlar, atık suda asılı kalan mikroplastikleri yakalamak için aynı anda bir kapan oluşturur. Yapılan çalışmanın sonucunda %90 verim elde edildiği rapor edilmiştir.

Mikroplastiklerin bozunma mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir. Brandon ve arkadaşları [36], simüle edilmiş gerçekçi hava koşulları altında 3 yıl boyunca polipropilen ve polietilen dahil olmak üzere iki tür mikro plastiğin kimyasal yapısındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Yapılan FTIR analizlerine göre, karbonil, hidroksil ve karbon-oksijen bağlarında zamanla doğrusal olmayan değişiklikler buldular, bununda mikroplastiklerin yavaş bozunmasına işaret ettiğini rapor etmişlerdir.

4. Biyolojik Giderim

4.1. Deniz Organizmaları Tarafından Mikroplastiklerin Giderimi

Bugüne kadar yayınlanan çalışma sonuçlarına göre, doğal ve sentetik makroplastiklerin biyolojik bozunmasının mümkün olduğu yönündedir [37]. Kabuklu planktonik olan Antarctic Krill tarafından yutulan polietilen mikroplastiklerin parçalanması ve

boyut değişimi, Avustralya'da bir grup araştırmacı tarafından incelenmiştir [38]. Mikroplastikler ile zooplankton arasındaki parçalanma mekanizma türü hala belirsizliğini koruyor olmasına karşın, daha küçük mikroplastiklerin çevresel koşullar altında çok kolay parçalanabileceğini doğrulamıştır [39].

Cocca ve arkadaşları [40] tarafından yapılan çalışmada, iki tür deniz topluluğu kullanılarak (Agios ve Souda konsorsiyumu) deniz suyundan, yüksek yoğunluklu polietilen ikincil mikroplastiklerin giderimi araştırılmıştır. Sonuçlarına göre, Souda konsorsiyumunun daha yüksek mikroplastik giderimi sağladığı ve hücre içeriğinin ve popülasyonların izlenmesine ait sonuçlarda ise, mikroplastiklerin organizmaları beslemek için zengin bir karbon kaynağı olarak işlev gördüğünü ortaya koymuştur. Deneyler sırasında her iki topluluğunda protein içeriğinin azalırken, hücre karbonhidrat içeriğindeki artışı, mikrobiyal polimer bozulmasının ilk adımı olan mikroplastik yüzeylere yapışma eğilimi artışından kaynaklanmaktadır.

Paço ve arkadaşları [41], deniz ekosistemlerinde doğal olarak oluşan bir mantar olan Zalerion maritimum mantarının, kesikli reaktörde mikroplastiklerin kütle ve boyut varyasyonlarına dayalı polietilen mikroplastiklerin biyolojik bozunması için kullanımını araştırmalarıdır. Maruz kalma süresiyle birlikte protein miktarının azalması ve karbonhidrat artışı gibi biyolojik içerik ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Z. maritimum topluluğunun mikroplastikleri muhtemelen bir besin kaynağı olarak kullandığını ifade etmiştir.

4.2. Bakteriler İle Mikroplastik Giderimi

Auta ve arkadaşları [42], polietilen, polistiren, polietilen tereftalat ve polipropilenden oluşan farklı yapıda mikroplastiklerin, Bacillus cereus ve Bacillus gottheilii tarafından giderimini araştırmışlardır. Elektron mikroskobu ve FTIR analizleri kullanılarak morfolojik ve yapısal değişikliklerin araştırılmış, mikroplastik ağırlık kaybı ölçülerek biyolojik bozunma hızı değerlendirilmiştir. En hızlı kütle azalması ve en kısa bozunma yarı ömrü polistiren mikroplastikler için B. cereus izolatu kullanılarak bulunmuştur. FTIR analiziyle taranan bozunma sonuçlarına göre, bağ ayrılmaları ve kimyasal değişiklikleri karşılaştırarak, B. Gottheilii türünün mikroplastik parçalamada en iyi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

5. Sonuçlar

Bu çalışma günümüz dünyasının en güncel kirlilik sorunlarının başında gelen, davranışı, kaynağı, giderimi konularında son 5 yılda yapılan çalışmalar ile aydınlatılmaya çalışılan mikroplastik kirliliğinin giderim yöntemleri hakkında derleme çalışmasıdır.

Mikroplastik gideriminde kullanılan;

- Yeşil mikroalglerin kesilen yüzeylerinin mikroplastik parçacıkları adsorplamaya karşı yüksek afinitesi olduğunu ve verimin mikroplastik yüzey yüküne dayalı olduğunu,
- Dinamik membranların düşük filtrasyon direnci, düşük trans membran basıncı, kolay kullanımı, ve kimyasal kullanılmadan artırılması,
- Membran biyoreaktörlerinin gözenekli membranlarla ileri arıtma yöntemlerinin kombine kullanılması

- Atıksu arıtma tesislerinin sorpsiyon-biyolojik proseslerince kombine arıtımı, düşük bakım maliyetleri, basit kullanımı,
- Klasik koagülasyon ve çöktürme metotlarının, mikropartiküllerin gideriminde basit birmekanizma ile gideriminin sağlanması ve çalışma şartlarının kontrol edilebilmesi,
- Elektrokoagülasyon metodunun en küçük parçacıkların giderilmesi, minimum çamur üretimi, enerji verimliliği, maliyet etkinliği ve otomasyonda ki esnekliği,
- Biyolojik parçalanma ile büyük ölçekli kullanımda basitlik ve güvenlik, düşük işletme maliyetleri, farklı ortamlarda pratik uygulanabilirliği, çok çeşitli atık su özelliklerini ve akışlarını idare etme esnekliği gibi avantajları vardır.

Yapılan bu derleme ile sulardan mikroplastik giderim verimi sonuçları sırasıyla, % 99 ile membran reaktör sistemlerinden, %95 ile klasik atık su arıtma tesislerinden, %94 ile yeşil alg adsorpsiyonu, %90 ile elektrokoagülasyon ve %61 lik verim ile de klasik koagülasyon metotlarından elde edildiği görülmüştür.

Membran biyoreaktörlerle birleştirilmiş adsorpsiyon /filtrasyon prosesleri, atıksu arıtma tesislerine giren giriş suyunda yüksek oranda mikroplastiklerin giderilmesine imkan sağladığı, ancak atık suların doğrudan sucul ortamlara deşarjı ile de mikroplastik kaynakları olarak ana kaynak oluşturduğu ortaya konulmuştur.

Elektrokoagülasyon ve koagülasyon proseslerinin, mikroplastiklerin gideriminde güvenilir teknikler olduğu, ancak yüksek verim elde etmek için ekstra filtrasyon aşamalarıyla birleştirilmesi gerektiği yapılan çalışmaların sonuçları ile ortaya çıkmıştır.

FTIR ve elektron mikroskobu analizleri, bozunma işlemi sırasında herhangi bir yapısal değişikliği aydınlatmak için yaygın olarak kullanılır. Bakteri suşları ve deniz organizmaları üzerinde biyolojik parçalanmanın araştırma sonuçları biyolojik giderim için oksidatif mekanizmayı öne çıkarmıştır.

Doğada meydana gelen kirliliği önlemede, kaynakların azaltılması önemli iken kirliliğin giderimi de doğal ekosistemlerin dengesi için önemlidir. Dünya genelinde mikroplastik kaynaklarının azaltılması için birçok çalışma başlatılmış fakat henüz var olan kirliliğin büyüklüğü tam olarak tespit edilememiştir. Bu kirliticilerin yapılarından kaynaklı dayanıklılıkları ise, giderim yöntemlerinin kirliliği kontrol altına alınmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Zhang K, Shi H, Peng J, Wang Y, Xiong X, Wu C, Lam PK (2018) Microplastic pollution in China's inland water systems: a review of findings, methods, characteristics, effects, and management. *Sci Total Environ* 630:1641–1653.
- [2] Van Cauwenberghe L, Vanreusel A, Mees J, Janssen CR (2013) Micro- plastic pollution in deep-sea sediments. *Environ Pollut* 182:495–499.
- [3] Faure F, Demars C, Wieser O, Kunz M, De Alencastro LF (2015) Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environ Chem* 12(5):582–591

- [4] Law KL, Morét-Ferguson SE, Goodwin DS, Zettler ER, DeForce E, Kukulka T, Proskurowski G (2014) Distribution of surface plastic debris in the eastern Pacific Ocean from an 11-year data set *Environ Sci Technol* 48(9):4732–4738.
- [5] Sun J, Dai X, Wang Q, van Loosdrecht MC, Ni B-J (2019) Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal. *Water Res* 152:21–37
- [6] Galgani F, Hanke G, Werner S, De Vrees L (2013) Marine litter within the European marine strategy framework directive. *ICES J Mar Sci* 70(6):1055–1064.
- [7] Güler Ç., Çobanoğlu Z. *PLASTİKLER. TC.Sağlık Bakanlığı, Ankara* 1997
- [8] Liu P, Qian L, Wang H, Zhan X, Lu K, Gu C, Gao S (2019) New insights into the aging behavior of microplastics accelerated by advanced oxidation processes. *Environ Sci Technol* 53:3579–3588.
- [9] Jiang J-Q (2018) Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: a review. *Sustain Prod Consum* 13:16–23.
- [10] Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AW, McGonigle D, Russell AE (2004) Lost at sea: where is all the plastic *Science* 304(5672):838
- [11] Anbumani, S.ve Kakkar, P. (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), 14373-14396.
- [12] Browne MA, Crump P, Niven SJ, Teuten E, Tonkin A, Galloway T, Thompson R (2011) Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ Sci Technol* 45(21):9175–9179.
- [13] Long Z, Pan Z, Wang W, Ren J, Yu X, Lin L, Lin H, Chen H, Jin X (2019) Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. *Water Res* 155:255–265.
- [14] Beljanski A (2016) Efficiency and effectiveness of a low-cost, self-cleaning microplastic filtering system for wastewater treatment plants. 2016 NCUR
- [15] Carr SA, Liu J, Tesoro AG (2016) Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res* 91:174–182.
- [16] Horton AA, Svendsen C, Williams RJ, Spurgeon DJ, Lahive E (2017) Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK—Abundance, sources and methods for effective quantification. *Mar Pollut Bull* 114(1):218–226.
- [17] Nizzetto L, Futter M, Langaas S (2016) Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin. *Environ Sci Technol* 50(20):10777–10779
- [18] Zubris KAV, Richards BK (2005) Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environ Pollut* 138(2):201–211.
- [19] Lwanga EH, Gertsen H, Gooren H, Peters P, Salánki T, van der Ploeg M, Besseling E, Koelmans AA, Geissen V (2017) Incorporation of microplastics from litter into burrows of *Lumbricus terrestris*. *Environ Pollut* 220:523–531
- [20] Corcoran PL, Norris T, Ceccanese T, Walzak MJ, Helm PA, Marvin CH (2015) Hidden plastics of Lake Ontario, Canada and their potential preservation in the sediment record. *Environ Pollut* 204:17–25.
- [21] Horton AA, Dixon SJ (2018) Microplastics: an introduction to environmental transport processes. *Wiley Interdiscip Rev Water* 5(2):1268–1283.
- [22] Lagarde F, Olivier O, Zanella M, Daniel P, Hiard S, Caruso A (2016) Microplastic interactions with freshwater microalgae: hetero aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type. *Environ Pollut* 215:331–339.
- [23] Rios LM, Moore C, Jones PR (2007) Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Mar Pollut Bull* 54(8):1230–1237.
- [24] Sundbæk KB, Koch IDW, Villaro CG, Rasmussen NS, Holdt SL, Hartmann NB (2018) Sorption of fluorescent polystyrene microplastic particles to edible seaweed *Fucus vesiculosus*. *J Appl Phycol* 30(5):2923–2927
- [25] Nolte TM, Hartmann NB, Kleijn JM, Garnæs J, van de Meent D, Hendriks AJ, Baun A (2017) The toxicity of plastic nanoparticles to green algae as influenced by surface modification, medium hardness and cellular adsorption. *Aquat Toxicol* 183:11–20.
- [26] Li L, Xu G, Yu H, Xing J (2018b) Dynamic membrane for microparticle removal in wastewater treatment: performance and influencing factors. *Sci Total Environ* 627:332–340.
- [27] Lares M, Ncibi MC, Sillanpää M, Sillanpää M (2018) Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Res* 133:236–246.
- [28] Talvitie J, Mikola A, Koistinen A, Setälä O (2017a) Solutions to microplastic pollution removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Res* 123:401–407
- [29] Gurung K, Ncibi MC, Fontmorin J-M, Särkkä H, Sillanpää M (2016) Incorporating submerged MBR in conventional activated sludge process for municipal wastewater treatment: a feasibility study
- [30] Ma B, Xue W, Ding Y, Hu C, Liu H, Qu J (2019) Removal characteristics of microplastics by Fe-based coagulants during drinking water treatment. *J Environ Sci* 78:267–275.
- [31] Shirasaki N, Matsushita T, Matsui Y, Marubayashi T (2016) Effect of aluminum hydrolyte species on human enterovirus removal from water during the coagulation process. *Chem Eng J* 284:786–793
- [32] Chorghé D, Sari MA, Chellam S (2017) Boron removal from hydraulic fracturing wastewater by aluminum and iron coagulation: mechanisms and limitations. *Water Res* 126:481–487.
- [33] Ariza-Tarazona MC, Villarreal-Chiu JF, Barbieri V, Siligardi C, Cedillo-González EI (2019) New strategy for microplastic degradation: green photocatalysis using a protein-based porous N-TiO₂ semiconductor. *Ceram Int* 45(7):9618–9624.
- [34] Perren W, Wojtasik A, Cai Q (2018) Removal of microbeads from wastewater using electrocoagulation. *ACS Omega* 3(3):3357–3364.
- [35] Akbal F, Camcı S (2011) Copper, chromium and nickel removal from metal plating wastewater by electrocoagulation. *Desalination* 269(1–3):214–222
- [36] Brandon J, Goldstein M, Ohman MD (2016) Long-term aging and degradation of microplastic particles: comparing in situ oceanic and experimental weathering patterns. *Mar Pollut Bull* 110(1):299–308.
- [37] Ahmed T, Shahid M, Azeem F, Rasul I, Shah AA, Noman M, Hameed A, Manzoor N, Manzoor I, Muhammad S (2018) Biodegradation of plastics: current scenario and future prospects for environmental safety. *Environ Sci Pollut Res* 25(8):7287–7298.
- [38] Dawson AL, Kawaguchi S, King CK, Townsend KA, King R, Huston WM, Nash SMB (2018) Turning microplastics into

- nanoplastics through digestive fragmentation by Antarctic krill. *Nat Commun* 9(1):1001.
- [39] Ter Halle A, Ladirat L, Gendre X, Goudounèche D, Pusineri C, Routaboul C, Tenailleau C, Duployer B, Perez E (2016) Understanding the fragmentation pattern of marine plastic debris. *EnvironSci Technol* 50(11):5668–5675.
- [40] Cocca M, Di Pace E, Errico ME, Gentile G, Montarsolo A, Mossotti R (2017) Proceedings of the international conference on microplastic pollution in the mediterranean sea. Springer, Berlin
- [41] Paço A, Duarte K, da Costa JP, Santos PS, Pereira R, Pereira M, Freitas AC, Duarte AC, Rocha-Santos TA (2017) Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum*. *Sci Total Environ* 586:10–15.
- [42] Auta H, Emenike C, Fauziah S (2017) Screening of *Bacillus* strains isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia for microplastic degradation. *Environ Pollut* 231:1552–1559.



Nehirlerde Mikroplastik Kirliliği ve Hidrodinamik Modellenmesi

Olca Gülçiçek Uysal^{1*},

^{1*}Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9032-4241), olcayozer@mersin.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015595)

ATIF/REFERENCE: Gülçiçek Uysal, O. (2021). Nehirlerde Mikroplastik Kirliliği ve Hidrodinamik Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1410-1414.

Öz

Plastik atıklar, günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olarak kabul edilmiştir. Bu atıkların kaynaklarının çoğu karasal olduğundan, çalışmalarda tatlı su ve karasal çevreye odaklanılmaktadır. Tatlı su kaynaklarından nehirler ise, denizlere ve okyanuslara mikroplastik taşıyan en önemli kaynaktır. Bu nedenle, nehirlerde mikroplastik kirliliğinin anlaşılabilmesi önemlidir. Bu derleme çalışmada mikroplastikler ve ekosistemlere giriş yolları, nehirlerde mikroplastiklerin akıbeti ve taşınımı ile ilgili yapılan hidrodinamik modellerin öncü çalışmaları incelenmiştir. Mikroplastiklerin nehirlerde taşınımında zamana ve mekana bağlı değişimi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Nehir, Modelleme.

Microplastic Pollution and Hydrodynamic Modeling in Rivers

Abstract

Plastic waste has been recognized as one of the most important environmental problems of today. Since most of the sources of these wastes are terrestrial, studies focus on fresh water and terrestrial environment. Rivers, which are one of the fresh water resources, are the most important source of microplastics to the seas and oceans. Therefore, it is important to be able to understand microplastic pollution in rivers. In this review, pioneering studies of hydrodynamic models on microplastics and their entry routes into ecosystems, fate and transport of microplastics in rivers are examined. The temporal and spatial variation of the transport of microplastics in rivers is discussed.

Keywords: Microplastic, River, Modelling.

* Sorumlu Yazar: olcayozer@mersin.edu.tr

1. Giriş

Günümüz dünyasının en önemli kullanım araçlarından biri olan plastiklerin üretimi her geçen yılla birlikte rekor düzeylere ulaşmakta ve gelecek trendler dikkate alındığında da bu artışın hız kesmeden devam edeceği öngörülmektedir [1].

Plastikler fosil kaynaklardan ya da selüloz vb. organik ürünlerden türetilen, çeşitli monomerlerin uzun zincirli yapılara dönüştürülmesiyle elde edilen sentetik ve yarı sentetik materyallerdir ve önemli kullanım araçlarındandır [2].

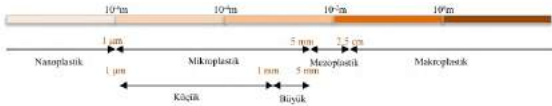
Hava, su ve toprak ortamında çeşitli modelleme çalışmaları yapılarak, atık ve artıkların yayılımı, alıcı ortamın çevresel kalitesi ve bu kaliteyi oluşturan tüm fiziksel, kimyasal, biyokimyasal ve ekolojik süreç ve mekanizmalar üzerine etkisi hakkında tahminler ve senaryolar üretilmektedir. Yapılan çalışmalarda plastik atıkların su ortamındaki miktarı ve akıbeti üzerine veri elde edilmesindeki zorlukların, var olan kirletici taşınım modellerinin plastiklere modifiye edilmesi ile geliştirilebileceği ortaya konulmuştur [3,4,5].

Bu çalışma ile mikroplastiklerin özellikleri, kaynakları, nehir sistemlerinde taşınımı ve akıbeti ile ilgili hidrodinamik modeller ile elde edilen sonuçlar değerlendirilerek mikroplastiklerin nehirler üzerindeki zararlı etkilerinin azaltılmasına yönelik yol haritasının ortaya konulmasına katkı sağlamak amaçlanmıştır.

2. Plastik ve Mikroplastikler

Çeşitli polimer tiplerine ve yoğunluğa sahip bu materyaller ya birtakım amaçlarla oldukça küçük boyutlarda üretilmekte (primer mikroplastikler) ya da büyük plastik enkazın mikrobiyal degradasyon, UV ışınları, asidite, turbasyon vb. mekanizmalarla su ortamında daha küçük boyutlara (sekonder mikroplastikler) parçalanmasıyla meydana gelmektedir [2]. Boyutları 1 µm-5 mm arasında değişen plastikler mikroplastik olarak tanımlanmaktadır. Su kolonundan sedimente değin çevrede birikim gösteren bu partiküller başta sucul ekosistemlerde olmak üzere biyota ile çeşitli şekillerde etkileşime girerek canlılar için büyük tehdit içermekte ve önemli bir risk durumu doğurmaktadır.

Mikroplastik terimini Thompson ve arkadaşları [6] genel olarak 5 mm' den küçük olan plastik parçacıklar olarak ilk tanımlayanlardır. Mikroplastikler boyutlarına göre küçük ve büyük mikroplastikler olarak iki grupta ele alınmış olup [7], parçacık boyutları için nano, mikro, mezo ve makro olarak yapılan sınıflandırma Şekil 1 de gösterilmektedir [8].



Şekil 1. Plastik parçalarının boyutlarının tanımlanması [8].

Plastikler buldukları ortamda birçok prosese maruz kalarak boyutsal ve şekilsel olarak değişirler (UV ışınları, sıcaklık, asidite, turbasyon, mikrobiyal degradasyon) [9]. Mikroplastik kirliliği büyük plastik atıkların yukarıda bahsedilen prosesler ile daha küçük boyutlara parçalanması (ikincil mikroplastikler) ya da birtakım amaçlar için üretilen mikron boyutlardaki plastiklerin (birincil mikroplastikler) çevresel kompartımanlara girmesiyle meydana gelir.

Birincil mikroplastik kaynaklarını oluşturan malzemelerin yüz bakım ürünlerinden duş jellerine, diş macunlarından makyaj malzemelerine, boya sanayiden medikal ürünlere kadar geniş bir kullanım yelpazesi vardır [10]. İkincil mikroplastik kaynakları ise hem denizde hem de karada daha büyük plastik döküntülerin parçalanmasından elde edilen, sentetik giysilerden kaynaklanan mikrofibriller ve sentetik lastik yapıların (road dust) aşınmasıdır [11,12]

Yoğunluklarına bağlı olarak mikroplastikler su ortamında batma ya da yüzme eğilimi göstermektedirler. Plastik malzemelerin %46'sı normal şartlarda yüzme eğilimindedir [13]. Yine de plastiklerin yüzeyinde meydana gelen mikrobiyal kolonizasyon, biyofilm oluşumu gibi faktörler bu partiküllerin yoğunluğunu artırarak su kolonu boyunca batmasına neden olmaktadır [14].

3. Mikroplastiklerin Ekosistemlere Giriş Kaynakları

Su kirliliğinin nispeten yeni fark edilen bir boyutu da plastik kirliliğidir. Denizlere ve nihayetinde okyanuslara karışan plastiklerin çoğu karadan gelen büyük plastiklerden kaynaklanmaktadır. Büyük plastik parçalar; rüzgârlar, dalgalar, ultraviyole ışınlarının etkisiyle mikroplastiklere bölünerek nehirler ile göllere ve denizlere ulaşmaktadır [15].

Kişisel bakım, temizlik ürünlerine üretim aşamasında küçük boyutlu mikroplastikler ilave edilmektedir. Sentetik lifler formunda olanlar ise tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır [16, 15]. Bahsedilen bu ürünlerin her evde sıklıkla kullanıldığını varsayarsak ürünlerdeki mikroplastikler öncelikle kanalizasyon sistemine ve daha sonra atıksu arıtma tesislerinde arıtılmazsa doğrudan su kaynaklarına ulaşmaktadır. Ülkemizde su kaynaklarında yapılan mikroplastik kirliliği araştırmaları sonucuna göre, en büyük kaynağın atık su arıtma tesisleri olduğunu ortaya koymuştur [17]. Birçok ileri arıtma yönteminin mikroplastik gideriminde etkili olduğu artık biliniyor olsada mikroplastiklerin arıtımı ile ilgili yasal bir zorunluluk bulunmadığından arıtma tesisleri mikroplastik giderimi maksatlı dizayn edilmemiştir.

Örneğin, Kuzey Denizi'ne giren Avrupa'nın en büyük nehirlerinden biri olan Ren Nehri boyunca mikroplastik konsantrasyonları, nehrin gelgit bölgesi dışında mansap yönünde önemli ölçüde artmaktadır [18]. Chesapeake Körfezi'ne giren dört nehir ağzı nehrindeki mikroplastik konsantrasyonlarının nüfus yoğunluğuna ve arazi kullanımına bağlı olduğu bulundu [19].

Son zamanlarda, nehir havzalarında mikroplastik taşınımı, havza hidrolojisi, toprak erozyonu ve sedimen bütçe modeli kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir [21]. Başka bir yaklaşımda, nehirlerden okyanuslara mikroplastiklerin girdisi, atık yönetimi, nüfus yoğunluğu ve hidrolojik bilgilere dayalı olarak tahmin edilmiştir [22]. Yapılan çalışmalar, mikroplastik konsantrasyonu ve atık yönetimi, havza özellikleri ve hidrolojik rejim arasında önemli bir ilişki olduğuna dikkat çekmiştir.

Kataoka ve arkadaşları [22]Japonya da bulunan 29 nehirden örnekler alıp mikroplastik kirliliğinin kaynaklarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, mikroplastik konsantrasyonlarının önemli ölçüde kentleşme ve nüfus ile ilişkili olduğunu ayrıca, nehir sularının kalitesini gösteren biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) parametresi ile de arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.

Nehirler, atık plastiklerin insan faaliyetlerinden kaynaklı oluşan birincil mikroplastiklerin okyanuslara girdisini sağlayan başlıca kaynaklardır [23,24]. Ayrıca nehirler, iki süreçle ikincil

mikroplastik kaynakları haline gelir. Ek olarak, nehirler iki işlem yoluyla ikincil mikroplastik kaynakları haline gelebilir. Bir süreçlerden ilki, plastiklerin karada parçalanmasıdır. Karadaki plastik atıklar, fotooksidatif bozulma ve insan aktivitesinden kaynaklanan fiziksel hasarlar ile parçalanabilir [9] Parçalanmış plastikler ise nehirlere yağmur suyu drenajı ile taşınırlar. Alternatif olarak, nehir kenarlarında veya taşkın ovalarında plastiklerin parçalanması meydana gelebilir. Karadan gelen plastik atıklar, taşkınların büyüklüğüne bağlı olarak nehir kenarlarında ve taşkın ovalarında tekrar tekrar karaya yıkıldığında, plastiklerin bozunması su dışında kalma süresine bağlı olarak ilerler [9,25].

Özellikle, taşkın ovasında gelişen makrofitler, bozunma sürecine önemli ölçüde katkıda bulunacaktır. Bununla birlikte, mikroplastiklerin karadan okyanusa hareketi tam olarak anlaşılabilir [26].

Nehirlerdeki mikroplastiklere yönelik bilimsel kaygı hızla artmış, bu da mikroplastik konsantrasyonlarının izlenmesi [27, 28], mikroplastiklerin okyanuslara girişinin tahmin edilmesi [29,30,31], mikroplastik kirlenme kaynaklarını anlama [32,33] ve tatlı su türleri üzerindeki etkileri [4,27] gibi konularda birçok mikroplastik çalışmanın yayınlanmasıyla sonuçlanmıştır.

Mikroplastiklerin su ortamlarına salınımını etkili bir şekilde önlemek için nehirlerdeki mikroplastiklerin kaynakları ve içeri akış süreçlerinin daha iyi anlaşılması gerekir. Örneğin, noktasal olmayan mikroplastik kaynaklarından gelen akış süreçleri ve bunların nokta kaynakları [32,34,35], nehir kirlenmeleri dikkate alınarak tartışılmalıdır.

4. Nehirlerde Mikroplastik Taşınımı Ve Hidrodinamik Modellenmesi

Su ortamında parçacıkların hareketi, advectif, dispersif ve difüze kütle transferinin sonucudur. Adveksiyon, ortalama akış hızına bağlı olarak akım yolu boyunca yatay yönde akışını belirler. Dispersif kütle transferi, kütlelerin çok yoğun ortamdan az yoğun ortama türbülanslı yayılmasıdır [36]. Bu makro ölçekteki olay ideal olmayan akış yönlerinden kaynaklanır. Nehirlerde bulunan maddelerin taşınması yaygın olarak tek boyutlu Adveksiyon-dispersiyon denklemi ile tanımlanmaktadır [37]. Su ortamında taşınmanın yanı sıra, Stokes yasası veya bu yasanın bir modifikasyonu ile parçacıkların su kolonunda çökmesi modellenmektedir [38]. Adveksiyon, dispersiyon, difüzyon ve çökme olayları parçacığın boyut, yoğunluk, şekil, ve gözeneklilik gibi özelliklerinden etkilenmektedir [39].

Hidrodinamik modeller, suyun hareketine etki eden dinamik (rüzgar, akıntı, direnç katsayısı, türbülans gibi) parametreleri kullanarak, hidrodinamik veriler elde eder ve bunları mevcut bir sayısal modelleme yazılımında kullanır. Mikroplastiklerin akıbeti ve taşınması üzerindeki etkisini analiz etmek ve farklı coğrafyalarda parçacıkların adveksiyonunu ve dispersiyonunu simüle etmek için hidrodinamik modeller kullanılmaktadır. Model, advectif taşıma, partikül agregasyonu, tortulaşma, yeniden süspansiyon, polimer bozunması ve gömülmeyi hesaba katarak, mekansal ve zamansal olarak belirgin hidrodinamik partikül davranışını simüle eder. Bu modeller kullanılarak yüzey sularında mikroplastiklerin hidrodinamik birçok modeli oluşturulmuştur [40,41].

Ding ve arkadaşları tarafından parçacıklar arası ve parçacık-duvar çarpışmalarını da dikkate alan daha kapsamlı bir hidrodinamik model geliştirilmiştir [42]. Lagrange parçacık izleme yöntemiyle birleştirilmiş kafes Boltzmann yöntemini

kullanarak Laizhou Körfezi çevresindeki dört farklı nehirden salınan mikroplastiklerin taşınım yollarını simüle etmeyi amaçlamışlardır. Başlangıç verileri; rüzgar, gelgit verileri, nehirlerden gelen mikroplastik parçacıkları ve su derinliğini içeriyordu. Modellenen nehirler için serbest bırakma süresi aynı olarak kabul edilmiştir. Başlangıç koşulu olarak 0 ms^{-1} değeri ile tüm alan üzerinde sabit rüzgar varsayılmıştır. Tüm parçacıkların yüzer olduğu ve her zaman yüzeyde yüzdüğü varsayılarak başlangıç parçacık hızının 0 ms^{-1} olduğu kabul edilmiştir. Parçacık çarpışmalarının değişen yörüngeler üzerinde çok az etkisi olduğu, kabul edilebilir sonuçlara rağmen, sürekli yüzen parçacıklar varsayımı, parçacığın aşağı ve yukarı gitmesine neden olabilecek hidrodinamik olayları göz ardı edilmesine sebep olmuştur. Ayrıca sürekli yüzer olduğu varsayımı ile biyofilm, çökme ve agregasyon prosesleri ile partikül yoğunluğununun değişmediği kabulunu yapmaya itmektedir. Ayrıca, parçacıklar gerçekte aynı boyuta sahip olmayacaktır. Dalgalar ve akımlar parçacıkların kaderini, taşınmasını ve dolayısıyla birikimini de etkileyecektir. Yapılan kabuller ve varsayımlar, parçacıkların heterojenliğini yok saydığından daha sınırlı nehirlerde kullanımı uygundur.

Quik ve ekibi [43] tarafından genel olarak nanoparçacıklara odaklanan, Hollanda Dommel Nehri çalışma alanı seçilerek bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmaları, mikroplastiklerle ilgili diğer modeller için öncü bir çalışma olmuştur. Model, yerel akış koşulları ile homo- ve hetero-agregasyon, yeniden süspansiyon ve sedimentasyon gibi nanopartiküllerin akım süreçleri arasındaki geri bildirimlere dayanmaktadır. Sonuçlar, mekansal heterojenliğin ihmal edilmesinin nanopartikül tutunumunda küçük farklılıklara sebep olduğunu göstermiştir. En göze çarpan sonuçlardan biri, su sütunundaki nanopartiküllerin konsantrasyonunun ve formunun, nehir akış dinamiklerinin bir sonucu olarak hızlı değişimlere maruz kalması olarak rapor edilmiştir.

Model bulguları, nanopartikül hareketlerinin değerlendirilmesinde su kolonu dinamiklerindeki değişkenliğinde dikkate alınması gerektiğini öne sürmüştür. Nanopartiküllerin homo- ve hetero-agregasyonunun mekansal değişimi hesaba katmayan, genellikle kararlı hal olan kütle-denge ve birinci mertebe modellerinden farklı olarak; sonuçlar, başlangıç değeri ile mevcut modelin çıktısı arasında önemli orantısızlıklar olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu nedenlerle, bu çalışma nanopartiküllerin akış modellemesinde öncü bir çalışma olarak kabul edilebilir.

Quik ve arkadaşlarından iki yıl sonra aynı nehir için Besseling ve arkadaşları [4], mekansal-zamansal olarak çözümlenmiş bir hidrolojik model olan NanoDUFLOW modelini kullanarak tatlı su sistemlerinde nano, mikro ve milimetre boyutlu küresel ve küresele yakın plastik parçacıkların akıbetini ve taşınım süreçlerini araştırmışlardır. Yazarlar, homo- ve hetero-agregasyonunun, biyofilm, Stokes çökme hızı teorisine dayalı sedimentasyon hızı, yukarı akış konsantrasyonu ve sabit yüklenme, bozunma, yeniden süspansiyon olma ve çözünmeyi temel süreçler olarak değerlendirmişlerdir. Model sonuçları, plastik parçacıkların bir kısmının nehirde tutulabileceğini göstermiş ve bu sonuç ile nehirlerde bulunan mikroplastiklerin tamamının deniz ortamına aktarılmadığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, parametrelerin çoğunu içeren ve mikroplastiklerin nehirlerde taşınımı ile ilgili süreçleri dikkate alan ve gelecekteki çalışmalara ışık tutan çok kapsamlı bir çalışma olmasından dolayı oldukça önemlidir. Çalışmanın daha çok debisi düşük olan nehirlerde çalışılmış olması, plastik parçacıkların karışmasından kaynaklanan etkileşimlerin ihmal edilmesi, plastik parçacıklar

için sadece küresel veya küresele yakın şekillerin olduğu kabulunun yapılmış olması ve bu nedenle agregasyon ve çökeltme gibi bazı parçacık davranışlarının kabul edilmesi sebebiyle geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

5.Sonuçlar

Modelleme sayesinde kirlilik kaynakları ve kirleticilerin izledikleri yollar daha kolay tanımlanabilmektedir. Böylece su kaynaklarını korumak amaçlı herhangi bir noktadaki kontaminasyonu hesaplamak suretiyle kirliliği azaltma stratejileri belirlenebilmektedir.

Günümüzde denizlerimiz başta olmak üzere tüm yüzey suyu kaynaklarımızın mikroplastik kirleticiler tarafından kirletilmiş olması endişe vericidir. Bu derleme makale ile, denizlere karadan mikroplastik taşınımında en önemli kaynak olan nehirlerin mikroplastik kirliliğinin azaltılması ve uygun stratejilerin geliştirilmesinde yardımcı olacak olan hidrodinamik modeller hakkında genel bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Hidrodinamik modellerin; hidrodinamik olayların neden olduğu mikroplastiklerin kaderinin tahmininde, okyanus/deniz olayları açısından gerçek hayat ile uyumluluğu, yerel veya küresel ölçekte kullanılabilirliği, sediment taşınımı modeli ile bağlanma imkanlarından dolayı kullanımında güçlü yanları mevcuttur.

Modellenecek bir malzeme olarak mikroplastiklerin hidrodinamik modellenmesinde, boyutlarının, şekillerinin ve yoğunluklarının değişkenliği göz önüne alındığında benzersiz olduğu ortaya konulmuştur. Mikroplastiklerin agregasyonu/parçalanması, üzerinde biyofilm oluşumu gibi süreçler ile de parçacığın modellemede hidrodinamiğini ve boyut dağılımını etkilediği ortaya konulmuştur.

Bu derlemede, modelleme ile mikroplastik kirleticiler hakkındaki veri kıtlığı göz önüne alındığında nehirlerde uygun bir risk değerlendirmesini yapmak ve kirliliğin akıbeti hakkında önceden senaryolar oluşturabilmek için faydalı araçlar olduğunu vurgulamak amaçlanmıştır. Nehirler başta olmak üzere tatlı sularda mikroplastik taşınım modellemesi üzerine daha fazla araştırma ve model çalışılarak, literatüre ışık tutacak veri tabanı oluşturulmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768e771.
- [2] Andrady, A.L., (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8): 1596-1605.
- [3] Besseling E, Quik JTK, Koelmans AA (2014) Modeling the fate of nano- and microplastics in freshwater systems. SETAC Annual Meeting, Basel, Switzerland.
- [4] Besseling E, Quik JTK, Sun M, Koelmans AA (2017) Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: a modeling study. *Environ Pollut* 220:540–548
- [5] Nizzetto L, Bussi G, Futter MN et al (2016) A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environ Sci Process Impacts* 18:1050–1059
- [6] Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, McGonigle D, Russell AE (2004) Lost at sea: where is all the plastic *Science* 304(5672):838–838.
- [7] Erni-Cassola, G., Gibson, M. I., Thompson, R. C., Christie-Oleza, J. A. (2017). Lost, but found with Nile red: a novel method for detecting and quantifying small microplastics (1

- mm to 20 µm) in environmental samples. *Environmental science & technology*, 51(23), 13641-13648.
- [8] Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins J., Janssen, C.R., 2015. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects, *Marine Environmental Research* 111, 5-17
- [9] Andrady AL (2011) Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull* 62:1596–1605.
- [10] Fendall LS, Sewell MA (2009) Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Mar Pollut Bull* 58:1225–1228.
- [11] Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Delshab, H., Soltani, N., & Sorooshian, A., 2017, Investigation of microrubbers, microplastics and heavy metals in street dust: a study in Bushehr city, Iran, *Environmental Earth Sciences*, 76(23), 798.
- [12] Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R., 2011, Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks, *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-917
- [13] Lattin, G. L., Moore, C. J., Zellers, A. F., Moore, S. L., & Weisberg, S. B., 2004, A comparison of neustonic plastic and zooplankton at different depths near the southern California shore, *Marine Pollution Bulletin*, 49(4), 291-294.
- [14] Rummel, C. D., Jahnke, A., Gorokhova, E., Kühnel, D., & Schmitt-Jansen, M., 2017, Impacts of biofilm formation on the fate and potential effects of microplastic in the aquatic environment, *Environmental Science & Technology Letters*, 4(7), 258-267.
- [15] Wu, W. M., Yang, J., & Criddle, C. (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(1), 6.
- [16] GESAMP (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), 2016. Sources, Fate and Effects of Microplastics In The Marine Environment: Part Two of A Global Assessment, International Maritime Organization, Reports and Studies No 93, 221 p
- [17] Akarsu, C., Kideys, A.E., Kumbur, H., (2017). Evsel atık su arıtma tesislerinin sucul ekosisteme mikroplastik tehdidi, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74(EK-1), 73-78.
- [18] Mani T, Hauk A, Walter U, Burkhardt-Holm P (2015) Microplastics profile along the Rhine river. *Sci Rep* 5:17988
- [19] Yonkos, L. T., Friedel, E. A., Perez-Reyes, A. C., Ghosal, S., & Arthur, C. D., (2014), Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, USA, *Environmental Science & Technology*, 48(24), 14195-14202.
- [20] Nizzetto L, Bussi G, Futter MN et al (2016) A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environ Sci Process Impacts* 18:1050–1059
- [21] Lebreton, L. C., Van der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J., 2017, River plastic emissions to the world's oceans, *Nature Communications*, 8, 15611.
- [22] Kataoka T., Nihei Y., Kudou K., Hinata H. 2019. Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environmental Pollution*, 244.
- [23] Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res.* 91, 174-182.
- [24] Jambeck J, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R, Law KL (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347:768–771

- [25] Kershaw, P.J., Rochman, C.M., 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. *Rep. Stud.* 93, 221.
- [26] Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C., Aldridge, D.C., 2015. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res.* 75, 63-82.
- [27] Dris R, Imhof H, Sanchez W et al (2015) Beyond the ocean: contamination of freshwater ecosystems with (micro-)plastic particles. *Environ Chem* 12(5):539–550
- [28] Verster, C., Minnaar, K. and Bouwman, H. (2017), Marine and freshwater microplastic research in South Africa. *Integr Environ Assess Manag*, 13: 533-535.
- [29] Lebreton LCM et al (2017) River plastic emissions to the world's oceans. *Nat Commun* 8:15611
- [30] Nizzetto L, Langaas S, Futter M (2016) Pollution: do microplastics spill on to farm soils? *Nature* 537(7621):488
- [31] Schmidt, C., Krauth, T., Wagner, S., 2017. Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environ. Sci. Technol.* 51, 12246-12253.
- [32] Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res.* 91, 174-182.
- [33] Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B., 2016. Wastewater treatment Works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environ. Sci. Technol.* 50, 5800e5808.
- [34] Leslie, H.A., van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D., 2013. Microplastic Survey of the Dutch Environment: Novel Data Set of Microplastics in North Sea Sediments, Treated Wastewater Effluents and Marine Biota. Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam, Amsterdam.
- [35] McCormick, A., Hoellein, T.J., Mason, S.A., Schlupe, J., Kelly, J.J., 2014. Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river, 48, 11863-11871.
- [36] Ji Z-G (2008) Hydrodynamics and water quality: modeling rivers, lakes, and estuaries. Wiley, Hoboken
- [37] Ani E-C, Wallis S, Kraslawski A, Agachi PS (2009) Development, calibration and evaluation of two mathematical models for pollutant transport in a small river. *Environ Model Softw* 24:1139–1152
- [38] Kowalski N, Reichardt AM, Waniek JJ (2016) Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Mar Pollut Bull* 109(1):310–319
- [39] Khatmullina L, Isachenko I (2016) Settling velocity of microplastic particles of regular shapes. *Mar Pollut Bull* 114(2):871–880
- [40] Sterl, M. F., Delandmeter, P., & van Sebille, E. (2020). Influence of barotropic tidal currents on transport and accumulation of floating microplastics in the global open ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125
- [41] Dobler D., T. Huck, C. Maes, N. Grima, B. Blanke, E. Martinez, F. Ardhuin Large impact of Stokes drift on the fate of surface floating debris in the South Indian Basin *Mar. Pollut. Bull.*, 148 (2019), pp. 202-209
- [42] Ding Y., H. Liu, W. Yang Numerical prediction of the short-term trajectory of microplastic particles in Laizhou Bay *Water*, 11 (2019), Article e2251.
- [43] Quik J.T.K., J.J.M. de Klein, A.A. Koelmans Spatially explicit fate modelling of nanomaterials in natural waters *Water Res.*, 80 (2015), pp. 200-208,



Nanoparçacık Takviyeli Epoksi Nanokompozitlerin Eğilme Davranışları

Kazım Tolga Çınar¹, Mürsel Ekrem^{2*}

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8499-5361), kazimtolgacinar@gmail.com

^{2*} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5324-7929), mekrem@erbakan.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015227)

ATIF/REFERENCE: Çınar, K. T. & Ekrem, M. (2021). Nanoparçacık Takviyeli Epoksi Nanokompozitlerin Eğilme Davranışları. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1415-1418.

Öz

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla farklı malzeme grubunun makro boyutlarda bir araya gelmesiyle oluşan yeni nesil mühendislik malzemeleri olarak tanımlanmaktadır. Bu iki fazın birleşmesi sonucu malzeme özellikleri, matris ve takviye fazının güçlü özelliklerinin kombinasyonu şeklinde ortaya çıkmaktadır. Matris fazına eklenen takviye fazı çoğu zaman matrisin özelliklerini geliştirirken, bazı durumlarda mekanik özelliklerde düşüşe sebep olabilmektedir. Böyle durumlarda takviye fazının boyutunun nano seviyeye düşürülmesi gerekmektedir. Bu şekilde matris fazına nano boyutta yapılan ilaveler ile yeni nesil nanokompozit malzemeler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, nanoparçacık takviyeli epoksi nanokompozitlerin eğilme dayanımı incelenmiştir. Ağırlıkça %0,25 Çok Cidarlı Karbon Nanotüplerle (ÇCKNT) ve ağırlıkça %0,25, 0,5, 0,75 SiO₂ nanoparçacıklarla güçlendirilmiş takviyeli epoksi kompozit malzemelerin eğilme testleri, ASTM D790 standartlarına göre incelenmiştir. Epoksi reçinesi olarak Hexion MGS L160 kullanılmıştır. hibrid nanoparçacıklarla takviyeli epoksi nanokompozitlerin eğilme dayanımları epoksi reçineyle elastiklik modülü, eğilme dayanımları, birim şekil değişimleri karşılaştırılmıştır. Eğilme testi sonuçlarına göre en uygun ilave oranının %0,25 SiO₂ ve %0,5 ÇCKNT olduğu görülmüş ve saf epoksiye göre %80,38 artışla en yüksek eğilme dayanımı 138,42 MPa olarak elde edilmiştir. Daha yüksek ilave oranlarında ise eğilme dayanımı değerleri bakımından bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Takviyelendirme sayesinde epoksiye göre eğilme dayanımında artış görülürken birim şekil değiştirmelerde azalma görülmüştür. Maksimum yükleme miktarında %71,47 oranında artış meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nano Silisyum oksit, Çok Cidarlı Karbon Nanotüp, Epoksi, Nanokompozit, Eğilme testi.

Flexural Behaviors of Nanoparticle Reinforced Epoxy Nanocomposites

Abstract

Composite materials are defined as new generation engineering materials that are formed by the combination of two or more different material groups in macro dimensions. As a result of the combination of these two phases, the material properties emerge as a combination of the strong properties of the matrix and reinforcement phase. While the reinforcement phase added to the matrix phase often improves the properties of the matrix, it may cause a decrease in the mechanical properties in some cases. In such cases, the size of the reinforcement phase should be reduced to the nano level. In this way, new generation nanocomposite materials have been developed by adding nanoscale to the matrix phase. In this study, the flexural strength of nanoparticle reinforced epoxy nanocomposites was investigated. Bending tests of reinforced epoxy composite materials reinforced with 0.25% by weight Carbon Nanotubes (CNT) and 0.25%, 0.5, 0.75% by weight SiO₂ nanoparticles were investigated according to ASTM D790 standards. Hexion MGS L160 was used as epoxy resin. The flexural strength of epoxy nanocomposites reinforced with hybrid nanoparticles, the modulus of elasticity, flexural strength and unit shape changes of epoxy resin were compared. According to the flexural test results, it was seen that the most suitable addition ratio was 0.25% SiO₂ and 0.5% CNT, and the highest flexural strength was obtained as 138.42 MPa, with an increase of 80.88% compared to pure epoxy. It has been observed that there is a decrease in flexural strength values at higher addition rates. Thanks to the reinforcement, an increase in flexural strength was observed compared to epoxy, while a decrease in unit strains was observed. There was an increase of 71.47% in the maximum loading amount.

Keywords: Nano Silicon oxide, Multi-Wall Carbon Nanotube, Epoxy, Nanocomposite, Flexural test.

1. Giriş

Mükemmel fiziksel ve kimyasal bağlara sahip epoksi reçineler günümüzde uygulanan mühendislik uygulamaları için gerekli kabul edilirler. Günümüzde sanayide epoksi bazlı kompozitlerde matris malzemesi olarak çapraz bağlı polimer ağları mekanik özellikleri, düşük yoğunlukları, ısı kararlılıkları, ısı direnci, yapışma mukavemeti, kimyasal ve elektriksel direnci yüzünden tercih edilirler (Ekrem, 2019a; Wong, Zhang, Bilotti, & Peijs, 2017).

Bununla birlikte içerisinde yüksek çapraz bağ yoğunluğu bulunduran epoksi reçineler kırılma dayanımına ve sınırlamalara neden olurlar. Bu sebepten dolayı darbe dayanımları azalır. Bu durum epoksi reçinenin kullanımını sınırlar. Nanoparçacıkların epoksiye dahil edilmesine yönelik birçok sayıda araştırma, polimerlerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilebilmesi için kolay ve ekonomik bir yöntem olduğunu göstermiştir (Afrouzian, Movahhedi Aleni, Liaghat, & Ahmadi, 2017; Ahmadi, 2019; Ekrem, 2019b).

Nanokompozitler, aralarında farklı arayüzler veya sınırlar bulunan en az bir boyutu nano düzeyde bir matrise gömülü bir takviyeden oluşan malzemeler olarak tanımlanabilir (Yadav & Cho, 2013; Jiang et al., 2018). Matrisin işlevselliği, takviyeyi istenen bir geometride tutmaktır ve takviyelerin ise, uygulama amacına göre nanokompozit malzemelerin özelliklerini iyileştirmeye yardımcı olur (Vaithyalingam, Ansari, & Shanks, 2017; Erkendirici & Avcı, 2020). Polimerler genellikle matris olarak sürekli faz olarak hareket ederken nanoparçacıklar ise süresiz faz olarak kompozit malzemenin hasar mekanizmalarını iyileştirerek hem mukavemetini hem de tokluğunu geliştirir (Atıqah, Mastura, Ali, Jawaid, & Sapuan, 2017; Farooq et al., 2020; Ekrem, 2019c). Yüksek mukavemetli bir nanoparçacık/epoksi nanokompozit hazırlanması için hem polimer matrisinde nanoparçacıkların dağılımına hem de nanoparçacık ile matris arasındaki arayüz etkileşimine bağlıdır. Çözelti karıştırma, eriyik harmanlama ve in situ polimerizasyon gibi nanoparçacıkları polimer matrislerdeki dağılımını iyileştirmek için geliştirilmiş çeşitli yöntemlerdir (Navidfar, Sancak, Yildirim, & Trabzon, 2018; Hong et al., 2015).

Bu çalışmada, ağırlıkça farklı oranlarda nanoSiO₂ ile ağırlıkça % 0.25 Çok Cidarlı Karbon Nanotüp (ÇCKNT) takviyeli epoksi kompozit malzemelerin eğilme testi altındaki mekanik özellikleri iyileştirilmesi incelenmiştir. Hibrid nanoparçacık takviyeli epoksi kompozitler, ASTM D790 standardına göre üç nokta eğilme testi altında eğilme gerilmeleri, toklukları, birim şekil değişimleri ve maksimum yükleri referans malzeme karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmamızda matris malzemesi olarak Epoksi (MGS LR160 MomentiveHexion) reçinesi ve nano takviye olarak SiO₂ nanopartikülleri (15-50 nm Grafen Chemical Industries Co.) ve NANOCYL (5-50nm) firması tarafından üretilen MWCNT'ler kullanılmıştır. Kürleştirici ise yine Hexion markasının MGS H160

kodlu ürünüdür (ağırlıkça 100:40). Jelleşme zamanı oda sıcaklığında firmanın belirttiği oranlarda kullanıldığında yaklaşık 2 ile 3 saattir.

2.2. Kalıpların Hazırlanması

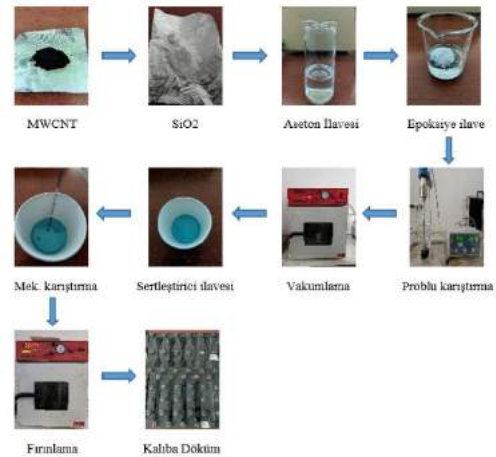
Eğilme testleri için ASTM D790 standardına uygun olarak önceden hazırlanan çelik kalıplara, epoksi reçinenin yapışmaması için vaks yardımıyla ince bir tabaka oluşturacak şekilde sürülmüştür. Montajı yapılan bu kalıplara hazırlanan nanokompozit malzemelerin dökülme işlemi gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarının güvenilirliğini sağlamak için aynı özellikteki numuneden 4 adet üretilmiştir. Şekil 1'de eğilme kalıplarının işlem basamakları görülmektedir.



Şekil 1. Eğilme Deneyleri için kalıpların hazırlanması

2.3. Nanoparçacık Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Hazırlanması

Şekil 2'de ağırlıkça % 0.25 oranında MWCNT ve farklı ağırlıklarda SiO₂ takviyeli epoksi nanokompozitlerin hazırlanması akış şeması olarak gösterilmiştir. Epoksi hassas terazide beherin darası önceden hesaplanmış şekilde beher içinde tartılmıştır. Sırasıyla epoksinin ağırlıkça %0.25 MWCNT ve %0,25 %0,5 %0,75 oranlarında SiO₂ önceden hazırlanmış alüminyum folyo üzerinde hassas terazide tartıldıktan sonra epoksi reçineye karıştırılmıştır. Epoksi reçinenin viskozitesini arttırmak için aseton ilave edilmiştir. Daha sonra nanopartikül ilaveli epoksi reçine problu homojenizatörle 5'er dk aralıklarla toplamda 15 dk karıştırılmıştır. Çok ısınan karışım beher içerisinde aralıklarla buz banyosu yaptırılarak 3 saat boyunca oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Beklendikten sonra karışımın içerisine epoksinin ağırlıkça 100:40 oranında kürleştirici eklenmiştir. Kürleştirici ilavesinden sonra hava kabarcıklarını gidermek amacıyla elle mekanik olarak en az 10 dk karıştırılmıştır. Daha sonra yine hava kabarcıklarını gidermek amacıyla vakum cihazında yaklaşık olarak 20dk boyunca 0.25 bar altında vakumlanmıştır.



Şekil 1. Nanoparçacık takviyeli epoksi nanokompozitlerin hazırlanması şematik gösterim

Vakum işlemi gören karışım eğilme testleri için 4x13x128 boyutunda önceden hazırlanmış çelik kalıplara dökülmüştür. Kalıplara dökülen karışımlar oda sıcaklığında 24 saat boyunca külemeye bırakılmıştır. Son kütleme işlemi için 80 °C'de 15 saat fırında gerçekleştirilmiştir.

2.4. Karakterizasyon

ASTM D790'a göre 4x13x128 mm ölçülerinde dikdörtgen kesitli bir parça halinde olan numuneler üretilmiştir. Testler 2 mm/dk hızında uzama kontrollü yapılmıştır. Shimadzu AGS-X Ünlversal Çekme Test Cihazı kullanılarak 1kN yük hücresinde deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.). Bütün testler oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 3. 3 nokta eğilme deneyi

Tablo 1. MWCNT ve SiO₂ takviyeli epoksi nanokompozit malzemelerin mekanik özellikleri

Numuneler	Maks yük (N)	Maks % uzama (mm)	Maks eğilme gerilme (MPa)	Birim şekil değişimi (mm/mm)
Epoksi	103.9	29.40	76.73	0.067
0.25 CNT	118.2	23.65	88.11	0.054
0.25 CNT + 0.25SiO ₂	113.7	29.20	98.11	0.053
0.25 CNT + 0.5SiO ₂	178.2	21.1	138.41	0.049
0.25CNT+0.75SiO ₂	111.0	23.94	85.60	0.053

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. 3 Nokta Eğilme Deneyi

Tüm deneylerde ASTM D790 standardına göre ölçme uzunluğu/derinlik oranı sabit olarak 32:1 alınmıştır. Yük iş numunesi ortasına uygulanmış olup parça kırılmaya kadar devam etmiştir. Ölçülen verilerin ortalaması alınmıştır. Her bir numuneye uygulanan yük P ve sehimi δ değerleri anlık olarak kayıt edilmiş ve numunelerin eğilme dayanımları aşağıdaki denklem 1 ile hesaplanmıştır;

$$\sigma_{max} = \frac{3P_{max}L}{2bh^2} \quad (1)$$

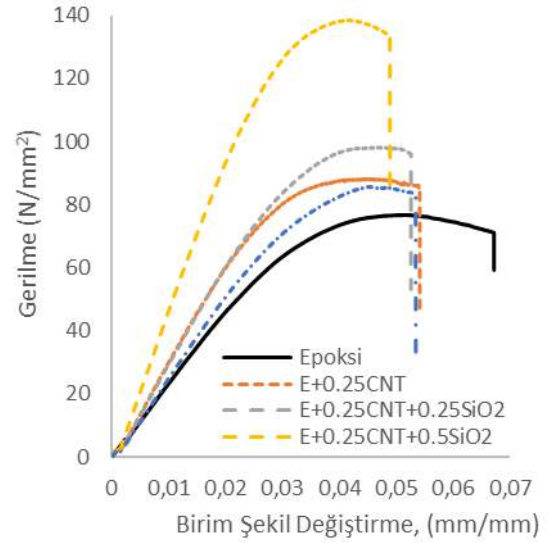
Denklem 1.'de σ_{max} numunenin orta noktasında dış yüzeyde oluşan gerilmeyi (MPa), P uygulanan yükü (N), L mesnetler arası açıklığı (mm), b numunenin genişliğini (mm) ve h ise numune kalınlığını (mm) göstermektedir.

Numunenin orta noktasında dış yüzeyinin şekil değişimi ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır;

$$\varepsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2)$$

Denklem 2.'de dış yüzeyde oluşan en büyük şekil değişimi miktarını (mm/mm), δ orta noktadaki sehimi (mm) ve L mesnetler arası açıklığı (mm) belirtmektedir.

Şekil 4'te %0.25 MWCNT ve sırasıyla %0.25 %0.5 %0.75 SiO₂ takviyeli epoksi nanokompozitlerin 3 nokta eğilme deneyinden sonraki gerilme-birim şekil değişirme grafiği verilmiştir.



Şekil 4. Hibrid nanoparçak takviyeli epoksi kompozit malzemelerin gerilme-birim şekil değişirme eğrileri

Takviyelendirme sayesinde epoksiye göre eğilme dayanımda artış görülürken birim şekil değiştirmelerde azalma görülmüştür. Malzeme epoksiye göre daha elastik şekil değişime dönüşmüştür. Saf epokside max eğilme dayanımı 76,73 Mpa iken 0.25CNT ve 0.5 SiO₂ takviyeli epoksi matris max eğilme dayanımı 138,41 Mpa değerini görmüştür. Aradaki artış miktarı %80,38'dir.

Saf epoksinin max yüklemeye, max uzama, max B.Ş.D değerleri sırasıyla 103.91N, 29.4mm ve 0.0672 mm/mm bulunmuştur. Ağırlıkça %0.25CNT ve %0.5 SiO₂ takviyeli epoksi nanokompozit malzemenin max yüklemeye, max uzama, max B.Ş.D değerleri sırasıyla 178.18N, 21.91mm, 0.0489 mm/mm olarak ölçülmüştür. Max yüklemeye miktarında %71,47 oranında artış meydana gelmiştir. Değerlere bakıldığı zaman 0.25CNT ve 0.5 SiO₂ takviyeli epoksi nanokompozit malzemenin elastik

kırılma gösterdiği sonucuna varılabilir. Ayrıca Tablo 1’de eğilme test sonucunda elde edilen değerler verilmiştir.

4. Sonuç

Epoksi yapıştırıcı, ağırlıkça %0.25 MWCNT, %0.25 MWCNT + %0.25, 0.5 ve 0.75 nano SiO₂ parçacık takviyeli hibrit nanoparçacık takviyeli epoksi nanokompozitlerin, eğilme dayanımları incelenmiştir. Eğilme testinde 0.25CNT+0.5SiO₂ takviyeli epoksi nanokompozitlerde eğilme dayanımı saf epoksiye kıyaslandığında %80.38 artış göstermiştir.

Sonuçlardan da görüldüğü üzere MWCNT ve SiO₂ nanoparçacık takviyesi malzemenin dayanımı arttırmak için kullanıldığında etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kaynakça

- Afrouzian, A., Movahhedi Aleni, H., Liaghat, G., & Ahmadi, H. (2017). Effect of nano-particles on the tensile, flexural and perforation properties of the glass/epoxy composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36(12), 900-916.
- Ahmadi, Z. (2019). Nanostructured epoxy adhesives: A review. *Progress in Organic Coatings*, 135, 449-453.
- Atiqah, A., Mastura, M. T., Ali, B. A. A., Jawaid, M., & Sapuan, S. M. (2017). A Review on Polyurethane and its Polymer Composites. *Current Organic Synthesis*, 14(2), 233-248. doi:10.2174/1570179413666160831124749
- Ekrem, M. (2019a). The effects of carbon nanotubes added polyvinyl alcohol nanofibers on mechanical properties of carbon reinforced composite laminates. *Sādhanā*, 44(8), 179. doi:<https://doi.org/10.1007/s12046-019-1161-6>
- Ekrem, M. (2019b). Hexagonal Boron Nitride Nanoplates-Nano Ag / Epoxy Composites: Production, Mechanical and Thermal Properties. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3), 585-593.
- Ekrem, M. (2019c). Shear strength of boron nitride nanoplatelets and nano Ag reinforced structural adhesives. *Journal of Bor*, 4(3), 128-134. doi:<https://doi.org/10.30728/boron.568138>
- Erkendirci, Ö. F., & Avcı, A. (2020). Quasi-static impact resistance and damage mechanisms of polymer hybrid nanocomposites. *Plastics, Rubber and Composites*, 49(1), 25-34.
- Farooq, M. U., Jan, R., Azeem, M., Umer, M. A., Akram, M. A., Khan, A. N., . . . Liaqat, U. (2020). Enhanced mechanical properties of functionalized BN nanosheets-polymer composites. *Journal of Polymer Research*, 27(10). doi:ARTN 31010.1007/s10965-020-02286-z
- Hong, S. K., Kim, D., Lee, S., Kim, B. W., Theilmann, P., & Park, S. H. (2015). Enhanced thermal and mechanical properties of carbon nanotube composites through the use of functionalized CNT-reactive polymer linkages and three-roll milling. *Composites Part a-Applied Science and Manufacturing*, 77, 142-146. doi:10.1016/j.compositesa.2015.05.035
- Jiang, S., Chen, Y., Duan, G., Mei, C., Greiner, A., & Agarwal, S. (2018). Electrospun nanofiber reinforced composites: A review. *Polymer Chemistry*, 9(20), 2685-2720. doi:<https://doi.org/10.1039/C8PY00378E>
- Navidfar, A., Sancak, A., Yildirim, K. B., & Trabzon, L. (2018). A Study on Polyurethane Hybrid Nanocomposite Foams Reinforced with Multiwalled Carbon Nanotubes and Silica Nanoparticles. *Polymer-Plastics Technology and*

- Engineering*, 57(14), 1463-1473. doi:10.1080/03602559.2017.1410834
- Vaithyalingam, R., Ansari, M. N. M., & Shanks, R. A. (2017). Recent Advances in Polyurethane-Based Nanocomposites: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(14), 1528-1541. doi:10.1080/03602559.2017.1280683
- Wong, D. W., Zhang, H., Bilotti, E., & Peijs, T. (2017). Interlaminar toughening of woven fabric carbon/epoxy composite laminates using hybrid aramid/phenoxy interleaves. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 101, 151-159.
- Yadav, S. K., & Cho, J. W. (2013). Functionalized graphene nanoplatelets for enhanced mechanical and thermal properties of polyurethane nanocomposites. *Applied Surface Science*, 266, 360-367. doi:10.1016/j.apsusc.2012.12.028



Microplastic Characterization in Soil Samples in Urban and Rural Areas of Eskişehir

Esin Huriye Buğdaycı^{1*}, Burcu Şimşek Uygun²

^{1*} Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6145-6701), bugdayciesin@gmail.com

² Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Eskişehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1211-4198), bsimsek1@eskisehir.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012889)

ATIF/REFERENCE: Buğdaycı, E. H. & Şimşek Uygun, B. (2021). Microplastic Characterization in Soil Samples in Urban and Rural Areas of Eskişehir. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1419-1423.

Abstract

Plastics, which are widely used in daily life, are preferred in many areas from the construction sector to the textile sector due to some of their features such as ease of processing and being economical. Nearly 9 million tons of plastic have been produced so far, most of which is emitted as pollution. These plastics, which turn into particles smaller than 5 mm called "microplastic" by exposure to some physical effects such as sunlight, wind and waves, increase pollution due to their smaller size and densities and spread to much wider areas. Microplastics, which can be formed by the disintegration of large-sized plastics, threaten the living and non-living environment with their non-degradable structures. The severity of microplastic pollution, which can be defined as invisible pollution, should be better understood and awareness should be raised about the impact of its negative consequences. The aim of this study is to reveal the microplastic pollution in soil environments of rural and urban areas in Eskişehir. In the study, soil samples taken from urban and rural areas were visually analyzed. As a result, it was observed that the microplastic density was higher in urban samples. In addition, by visual analysis of microplastics, it was determined that the most common type was fiber type, and black colored microplastics were seen most frequently.

Keywords: Microplastic, microplastic in soil, microplastic accumulation, soil pollution.

Eskişehir'in Kentsel ve Kırsal Bölgelerindeki Toprak Örneklerinde Mikroplastik Karakterizasyonu

Öz

Günlük hayatta yaygın olarak kullanılan plastikler, işlenme kolaylığı ve ekonomik olması gibi bazı özelliklerinden dolayı inşaat sektöründen tekstil sektörüne kadar birçok alanda tercih edilmektedir. Şimdiye kadar, çoğu kirlilik olarak yayılan yaklaşık 9 milyon ton plastik üretilmiştir. Güneş ışığı, rüzgar, dalga gibi bazı fiziksel etkilere maruz kalarak "mikroplastik" adı verilen 5 mm'den küçük parçacıklara dönüşen bu plastikler, daha küçük boyutları ve yoğunlukları nedeniyle kirliliği artırmakta ve çok daha geniş alanlara yayılmaktadır. Büyük boyutlu plastiklerin parçalanmasıyla oluşabilen mikroplastikler, parçalanmayan yapılarıyla canlı ve cansız çevreyi tehdit etmektedir. Görünmez kirlilik olarak tanımlanabilecek mikroplastik kirliliğinin ciddiyeti daha iyi anlaşılmalı ve olumsuz sonuçlarının etkisi konusunda farkındalık oluşturulmalıdır. Bu çalışmanın amacı Eskişehir'de kırsal ve kentsel alanların toprak ortamlarındaki mikroplastik kirliliğini ortaya çıkarmaktır. Çalışmada kentsel ve kırsal alanlardan alınan toprak örnekleri görsel olarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak kentsel örneklerde mikroplastik yoğunluğunun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca mikroplastiklerin görsel analizi ile en yaygın türün fiber türü olduğu, siyah renkli mikroplastiklerin ise en sık görüldüğü belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, toprakta mikroplastik, mikroplastik birikimi, toprak kirliliği.

* Corresponding Author: bugdayciesin@gmail.com

1. Introduction

Plastics, which are synthetic polymers, are one of the most important environmental pollutants today. Plastics are highly preferred because they are flexible, workable, economical, insulating (electrical and heat insulation) and light, and they have many usage areas. Kitchenware, toys, packaging, textiles are mostly plastic products.

It is seen that plastic production and plastic pollution have increased gradually. Today, although the production is about 350 million tons, only 10% of this value is recycled. For this reason, the accumulation of plastic waste also increases and many water and soil environments become contaminated. It is thought that there are 100-150 million tons of plastic in the seas and oceans.

Plastic particles smaller than 5 mm, which are formed as a result of decomposition by exposure to sunlight, waves or various physical effects, are called microplastics and can be examined in 2 different categories. Microplastics formed as a result of direct use (such as microbeads widely used in cosmetic materials) are called primary microplastics, and microplastics formed by the breakdown of larger plastics are called secondary microplastics (Yurtsever, M., 2015). In this regard, Fendall (2009) discovered in a study conducted for the aquatic environment that facial cleansers are an important source of microplastic pollution for the seas (Ceylan, B., 2017).

It is possible to say that the foundations of microplastics were laid within the scope of the study carried out by Gregory on the New Zealand coasts in 1977 (Aydın, E., 2020). Thompson (2004), on the other hand, used the word microplastic for the first time in his studies on plastic pollution in aquatic environments (Gürbüz, Ö., 2017).

Due to their small size and low density, microplastic particles diffuse faster into the environment than large plastic particles. Microplastics spread easily in this way, polluting many environments. Free (2014) encountered microplastics even in the Hovsgol mountain lake, which is far from the residential area (Aydın, 2020). In addition, 38-234 particles per m³ of ice were reported in the Arctic in a study by Obbard et al. (Guo, J. J., 2020).

Microplastics, which enter the bodies of living things in different environments, accumulate in the human body through the food chain. Roex et al. (2013), in a study they conducted in the Netherlands, determined that microplastics are taken into their body by both animals and humans, and they said that they have negative effects on health (Sema, B. Z., 2020).

Meral Y. (2017), as a result of her investigations on 10 different brands of sea, lake and rock salts purchased from some markets in Sakarya/Turkey, found that microplastics amounted to approximately 28 MP/200 g in rock salts, around 56 in sea salts, and 63 MP/200 g in lake salts (Yurtsever, M., 2018).

Due to agricultural activities, discharge of waste garbage, sewage sludge and plastic factory waste to the soil, microplastics are abundant in the soil and this is very important. Pim Van Den Berg et al. sampled a wastewater treatment plant and farmland in eastern Spain and showed that treatment of sewage sludge causes accumulation of microplastics in agricultural soils (Berg, P. et al., 2020). One of the biggest negative effects of microplastics on soil is that it causes changes in soil structure. It is known that as a result of microplastic contamination, there is a decrease in the water holding capacity of the soil and the microbiological

activities in the (MacHado, A. A., et al., 2018). Microplastic pollution causes degradation of soil biota. Microplastics, which are absorbed by the roots of plants living in the soil, damage plant vitality (Li, L. et al., 2020). In addition, microplastics can adsorb pollutants such as persistence organic compounds and heavy metals and damage the soil structure by increasing the concentration of these pollutants in the soil. In a study conducted in China, it was determined that heavy metals such as Cd, Pb, Hg contents on microplastic particles were strongly related to the these contents in the soil (Zou, X., et al., 2020). Although microplastics are so widespread and polluting in the soil environment, the scarcity of research on this subject is known and the number of studies on microplastics in terrestrial ecosystems should increase.

2. Material and Method

2.1. Study Area

For this research, soil samples were taken from different regions of Eskişehir, two rural and two urban points. Microplastic pollution was analyzed in the samples taken from Yenibağlar District and Kanlıkavak Park in the city center as an urban area, and the samples taken from Borabey Pond located in the north of the city center and Musaözü Pond in the south of the city center are as a rural area. While choosing the rural area, it was an important factor that the selected areas were far from the residential area and urban activities. However, there is a possibility that pollutants may reach the area as a result of natural events such as wind, rain and snow. Therefore, the wind direction is a factor taken into account during the research.

In this study, the aim of taking soil samples from urban and rural areas and examining them is to consider microplastic pollution and to make a rural-urban comparison at the same time. The locations of the sampled stations on the map of Eskişehir are shown in Figure 1.



Figure 1. Sampling Points

Soil, composed of materials such as organic matter, minerals and chemicals, is a highly heterogeneous system. Microplastics can be embedded in this system and it can be difficult to separate from the soil. To characterize microplastics in soils, rapid, high-efficiency, easy and reliable analytical techniques are required.

There is no definitive accepted method for the identification of microplastics in soil. But it can be said that it consists of the following 3 phases; extraction, removal of organic material from soil and identification.

2.2. Extraction of Soil Samples

After the location and number of sampling points are determined, the soil sample is taken appropriately, after this process, the sample is dried and sieved. The sieving process is the first step of the analysis and the sieve pore sizes used are important. There are different sieve sizes and different sieve uses recommended for soil samples with different properties. After the sieving process has been carried out, it is necessary to separate the microplastics from the soil environment. Since the densities of microplastics (0.8-1.4 g/cm³) are lower than the soil density (2.6-2.7 g/cm³), microplastic particles can be removed from the soil by using different density solutions such as NaCl (sodium chloride), CaCl₂ (calcium chloride), ZnCl₂ and NaI (sodium iodide). In most of the studies, saturated sodium chloride (NaCl) is used as salt solution for density separation (He, D., et al., 2018). Thompson et al. (2004), Reddy et al. (2006), Browne et al. (2010), Claessens et al. (2011) have made several attempts to monitor microplastics in sediments based on density separation in sodium chloride (NaCl) solutions (Nuelle, M., et al., 2014).

Concentrated ZnCl₂ has the appropriate density (1.55 g/cm³), but its solution is corrosive and toxic. Although the solution density of NaI is quite high (1.8 g/cm³) is a great advantage, NaI is expensive. CaCl₂ solution is a suitable substance for separating microplastics from soil. However, Ca⁺² ions can promote the extraction of organic material. All commonly used density solutions have some limitations. Although there may be points where the maximum solution density of NaCl remains low, it is frequently used because it is easy to obtain and useful.

In this study, the soil samples taken were laid on separate blotting papers in the laboratory environment and kept at room temperature for one day. Then, the dried samples were sieved by placing sieves of 4 mm, 2.8 mm, 2 mm, 1.4 mm, 1 mm, 710 µm, 500 µm, 250 µm and 125 µm from top to bottom, respectively. Thus, all parts between 4 mm and 250 µm in size were taken.

It is mixed with the prepared saturated NaCl solution and soil samples. Thus, the density difference was clarified and the part containing microplastic was exposed to the surface. By collecting and removing these microplastics on the surface, most of the sludge and organic matter is removed.

2.3. Organic Material Removal

Since the densities of organic materials in the soil are low (1.0-1.4 g/cm³), a single density separation method is not sufficient to separate microplastics from the soil environment. For this purpose, the cleaning procedure is the most commonly used method to remove organics from the soil. Various methods have different efficiencies. In the tests performed, it was determined that the removal with HNO₃ took place in a short time. However, this process caused some plastics to decompose into smaller debris. Liebezeit and Dubaish (2012) suggested pre-treatment of sediments using a 30% H₂O₂ solution to remove natural organic residues (Nuelle, Dekiff, Remy, & Fries, 2014). In addition, in the study of Hurley et al., the yields of 30% H₂O₂, Fenton reagent, NaOH solution, 10% potassium hydroxide (KOH) solutions were compared, and temperature as 40°C were used. In the soil sample, the removal of organic material with the highest efficiency was achieved with H₂O₂ (Hurley, R.R., et al., 2018).

Within the scope of this study, H₂O₂ and 40 °C temperature were used chemically. With the addition of H₂O₂, the final solution was left in the magnetic stirrer for 1 day and kept for

organic matter removal. After the solution was taken from the mixer, the same process was applied once more in order to increase the yield.

2.4. Physical Characterization

It is difficult to precisely and reliably identify microplastics of various sizes, shapes and polymer types from the complex soil using a single analytical method. Therefore, the combination of more than one analytical technique is widely used.

Analysis of microplastics can be divided into two parts as physical and chemical analysis. For physical analysis, the sample is examined under a microscope and the purpose is to identify the microplastic. In this visual analysis, they can be classified according to their features such as size, shape and color (Crawford, C.B., and Quinn, B., 2016), (Prata, J.C., et al., 2019). Scanning electron microscopy (SEM) can provide extremely clear, high-magnification images of plastic-like particles. Polarized optical microscopy has been successfully used to identify polyethylene (PE) particles in toxicity experiments (Shim, W., et al., 2017).

For chemical analysis, spectroscopic and thermal analysis methods are used (Li, L. et al., 2020). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy provides information about the chemical structure of particles. Raman Spectroscopy can analyze microplastics from 1-20 µmeters in size. However, it is an expensive device and requires a large amount of time (Shim, W., et al., 2017), (Kumar, M., et al, 2020). Differential scanning calorimetry (DSC) is a useful method to study the thermal properties of polymeric materials and can be useful in identifying specific primary microplastics (Shim, W., et al., 2017).

In this study, light microscopy was used while examining microplastics. All of the microscope images used within the scope of this project were first examined with 4x, and then final views were obtained with the 10x zoom option.

3. Results and Discussion

The lack of a standard method for the proper separation of microplastics from soil environments is a major shortcoming. Microplastics in soil can be in micro dimensions, making identification even more difficult. In addition, microplastic pollution seriously affects living life negatively. Microplastics can adsorb toxic substances, move freely in the environment, and pose great dangers to the ecosystem by surviving for many years.

A large amount of microplastic particles were found in the soil sample taken from the Kanlıkavak Park route around the city center. These; particle and fiber type. Fiber microplastics were observed in red, blue and black colors, and particle microplastics were observed in green and purple colors. The sample taken from Yenibağlar District route was examined with a microscope and microplastics of different colors such as black, green and red fiber type were found. Apart from this, particles were also detected in the film type.

When the sample taken from the Borabey Pond route in the rural area was examined, no microplastics of any other type than fiber were found. Most of these fiber-type microplastic particles were black in color, with one seen in blue. In the sample taken from the Musaözü Pond route, microplastic particles of black colored fiber and particle type were found.

As a result, it can be said that more microplastics were found in urban soil samples compared to rural areas. After the literature review, it was expected that microplastic pollution would be higher in the city center and areas close to the center. As a result of the examinations and laboratory researches, it was seen that this expectation came true. Regarding the reason for this, the population density in the city center and also the abundance of activities that may cause plastic pollution can be shown. Another conclusion that can be drawn from the results of the research is that different types of microplastics can be seen in these areas, regardless of whether they are far or close to residential areas. This shows how easily microplastics can spread over large areas. In addition, it is estimated that microplastic pollution in this area does not increase or decrease due to the wind effect.

The images obtained under the microscope of the microplastics found on the routes in the research are given below.

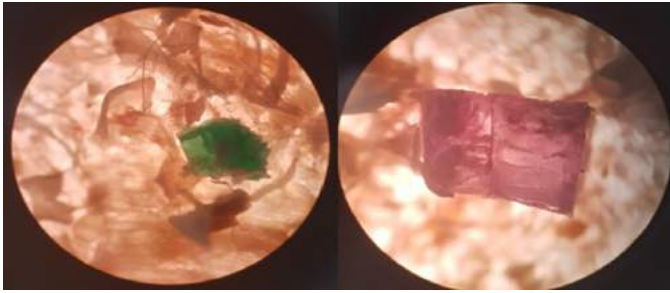


Figure 2. Particle Type Microplastic Images in Samples from the Kanlıkavak Park

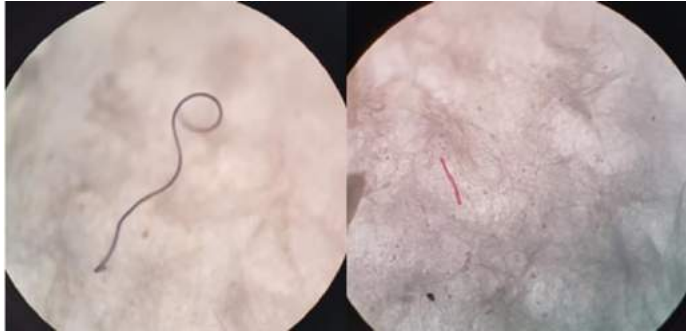


Figure 3. Fiber Type Microplastic Images in Samples from Yenibağlar District



Figure 4. Fiber Type Microplastic Images in Samples from Musaözü Pond

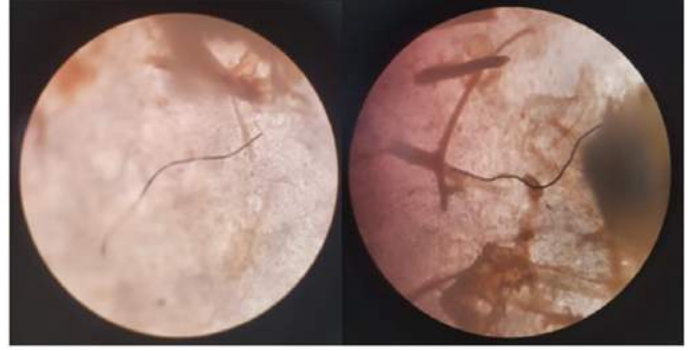


Figure 5. Fiber Type Microplastic Images in Soil Samples from Borabey Pond

4. Conclusions and Recommendations

Plastics are widely used, and the damage of small plastic particles, which we call microplastics, to the natural environment and human life, and their rate of diffusion into the environment are known. When the literature and the result of this study are examined, serious dimensions of microplastic pollution are seen. For this reason, awareness on microplastic pollution should increase day by day and research on this issue should be increased.

5. Acknowledgement

The authors are thankful to Mine Sağdıç Ulusoy for helping extraction part during the studies.

References

- A. A. De Souza MacHado et al., "Impacts Of Microplastics On The Soil Biophysical Environment," *Environ. Sci. Technol.*, 2018.
- Aydın, E. (2020, Mayıs). Yüzey Sularında Mikroplastik Kirliliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Berg, P., Huerta-Lwanga, E., Corradini, F., & Geissen, V. (2020). Sewage Sludge Application As A Vehicle For Microplastics In Eastern Spanish Agricultural Soils. *Environmental Pollution* 261, 114198.
- C. B. Crawford and B. Quinn, *Microplastic Pollutants*. 2016.
- Ceylan, B. (2017, Mart). Atıksulardaki Mikroplastik Kirliliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- D. He, Y. Luo, S. Lu, M. Liu, Y. Song, and L. Lei, "Microplastics In Soils: Analytical Methods, Pollution Characteristics And Ecological Risks," *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 109, pp. 163–172, 2018.
- Guo, J.J. (2020). Source, Migration And Toxicology Of Microplastics In Soil. *Environment International* 137.
- Gürbüz, Ö. (2017, Aralık). Marmara Denizi Mikroplastik Karakterizasyonu ve Dağılımı. Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.
- J. C. Prata, J. P. da Costa, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, "Methods For Sampling And Detection Of Microplastics In Water And Sediment: A Critical Review," *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*. 2019.
- L. Li et al., "Effective Uptake Of Submicrometre Plastics By Crop Plants Via A Crack-entry Mode," *Nat. Sustain.*, 2020.

- M. Kumar et al., "Microplastics As Pollutants In Agricultural Soils," *Environmental Pollution*. 2020
- Nuelle, M., Dekiff, J., Remy, D., & Fries, E. (2014). A New Analytical Approach For Monitoring Microplastics In Marine Sediments. *Environmental Pollution*, 184, 161-169.
- Sema, B. Z. (2020, Ağustos). Bazı Gıdalardaki Mikroplastik Kirliliğinin Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- R. R. Hurley, A. L. Lusher, M. Olsen, and L. Nizzetto, "Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices," *Environ. Sci. Technol.*, 2018
- Shim, W., Hong, S., & Eo, S. (2017). Identification Methods In Microplastic Analysis: A Review. *Critical Review*.
- Yurtsever, M. (2015). Mikroplastiklere Genel Bir Bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*.
- Yurtsever, M. (2018). Abiyotik Bir Su Ürünü Olan Sofra Tuzunda Mikroplastik Kirliliği Tehlikesi. *Su Ürünleri Dergisi*.
- Zhang, B., Yang, X., Liang, C., Jinyu, C., Jia, T., & Qing, W. (2019). Microplastics In Soils: A Review of Possible Sources, Analytical Methods and Ecological Impacts. *Society of Chemical Industry*.
- Zhou, X. Liu, and J. Wang, "Characterization Of Microplastics And the Association Of Heavy Metals With Microplastics In Suburban Soil Of Central China," *Sci. Total Environ.*, 2019.



Taş Kolonlarla İyileştirilen Zeminlerin Deprem Etkisinde Taşıma Gücü Analizi: 2020 İzmir Depremi Örneği

Ferhat Şahinkaya^{1*}, Gökhan Demir²

^{1*} İnşaat Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bozok Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5534-7058), ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr

² İnşaat Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3734-1496), gokhan.demir@omu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012867)

ATIF/REFERENCE: Şahinkaya, F. & Demir, G. (2021). Taş Kolonlarla İyileştirilen Zeminlerin Deprem Etkisinde Taşıma Gücü Analizi: 2020 İzmir Depremi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1424-1427.

Öz

Bu çalışmada Plaxis 2D programı yardımıyla taş kolon ile güçlendirilen iki tabakadan oluşan zeminin deprem etkisi altındaki taşıma gücü değişimi incelenmektedir. Çalışmada 80 m genişliğinde ve 12 m lik problemlili kil tabakası, 18 m lik sıkı kum tabakası olmak üzere toplamda 30 m kalınlığındaki zemin modeli oluşturulduktan sonra, üzerine 4 m genişliğinde bir temel ve temel üzerine 0,5 m lik deplasman yükü yüklenerek analizler yapılmıştır. İlk bölümde, oluşturulan bu zemin modeli herhangi bir iyileştirmeye tabi tutulmadan, 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen İzmir depremi etkisindeki taşıma gücü analizi yapılmıştır. Daha sonra aynı özellikteki zemin modeline 60 cm çapında, iki farklı aralıkta (s/D:2, s/D:3) taş kolonlar eklenerek yine aynı depremin etkisinde analizler yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda deprem etkisinde büyük problem oluşturabilecek yumuşak zeminlerin iyileştirilmesinde taş kolon yönteminin taşıma gücü kaybını önlemede ne kadar etkili bir yöntem olduğu açıkça görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak zemin, Taş kolonlar, Deprem, Taşıma gücü, Sonlu elemanlar.

Bearing Capacity Analysis of Soils Improved with Stone Columns Under the Effect of Earthquake: Example of 2020 Izmir Earthquake

Abstract

In this study, with the help of Plaxis 2D program, the change in bearing capacity of the soil, which consists of two layers reinforced with stone columns, under the effect of earthquake is examined. In the study, after creating a soil model of 80 m width and 12 m of problematic clay layer and 18 m of tight sand layer, a total of 30 m thick, analyzes were made by loading a 4 m wide foundation and a 0.5 m displacement load on the foundation. In the first part, the bearing capacity analysis under the influence of the Izmir earthquake, which occurred on October 30, 2020, was carried out without any improvement in this soil model. Then, stone columns with 60 cm diameter and two different intervals (s/D:2, s/D:3) were added to the soil model with the same characteristics, and analyzes were made under the influence of the same earthquake and the results were compared. As a result of the study, it has been clearly seen how effective the stone column method is in preventing the loss of bearing capacity in the improvement of soft soils that may cause major problems in the earthquake effect.

Keywords: Soft soil, Stone columns, Earthquake, Bearing capacity, Finite elements.

* Sorumlu Yazar: ferhat.sahinkaya@yobu.edu.tr

1. Giriş

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında deprem etkisindeki taşıma gücünün hesaplanmasında genel olarak yarı-statik yaklaşımın kullanıldığı görülmektedir. Yarı-statik yaklaşımda depremin pik ivme değerinin yer çekimi ivmesine oranlanmasıyla elde edilen kh katsayısı, zemin modeline etki ettirilerek taşıma gücü hesaplanmaktadır. Fakat bu yaklaşımda, deprem sırasındaki taşıma gücü, zemine tek bir ivme uygulanarak hesaplandığı için yetersiz bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu çalışmada ise Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılarak 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen İzmir depreminin ivme kaydı, model tabanından etki ettirilerek, taşıma gücünün zamana bağlı olarak nasıl değiştiği belirlenmiştir.

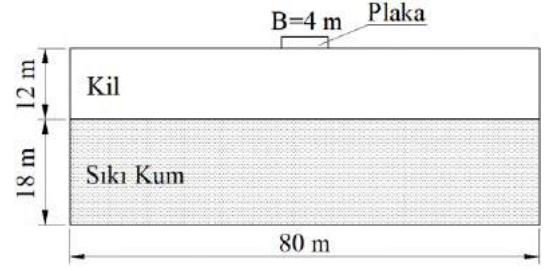
Yapılan bir çalışmada çimento ile geliştirilmiş killi-kum zemin üzerine inşa edilmiş bir şerit temel altındaki sismik taşıma kapasitesini iki boyutlu sonlu farklar yöntemini (FDM) kullanarak incelenmişlerdir. Sonuç olarak çimentonun %2, %4 ve %6 eklenmesinin sismik taşıma kapasitesini sırasıyla %270, %140 ve %176 oranında artırdığı gösterilmiştir (Kholdebarin, 2008; Kholdebarin 2016).

Birbirine yakın bir şekilde konumlandırılmış iki şerit temel arasındaki boşluk miktarının, sismik oturma üzerindeki etkisini incelenmiştir (Vivek, 2011). Yine farklı bir çalışmada sıvılaştırılabilir bir kil tabakası üzerine inşa edilmiş bir şerit temelin sismik oturma, sismik sıvılaşma ve taşıma kapasitesi kayıplarını incelenmiştir (Karamitros, 2013). Şevler üzerine yapılan bir çalışmada inşa edilmiş bir temelin sismik yer değiştirmesi üzerinde etkilerin etkisi araştırılmış ve etkilerin varlığının sismik yer değiştirmeyi azalttığı sonucuna varmıştır (Azzam, 2015). Doygun bir kum üzerine oturan sığ bir temel ile yapılan bir çalışmada deprem sırasındaki taşıma gücü incelenmiştir. Çalışmada, gömülme derinliğinin kumun bağıl yoğunluğunun, şerit temelin genişliğinin ve en yüksek zemin ivmesinin, sonuca olan etkisi üzerinde odaklanılmıştır (Mansour, 2016). Farklı bir çalışmada ise 50 kPa drenajsız kesme dayanımına sahip yumuşak killi zemin üzerine oturan betonarme çok katlı bir binanın sismik davranışına temel boyutunun etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaların tamamı, deprem sırasında yumuşak bir kil zeminde meydana gelen yüksek miktardaki deplasman ve taşıma gücü kayıplarını işaret etmektedir (Nguyen, 2016).

2. Zemin Modelinin Oluşturulması

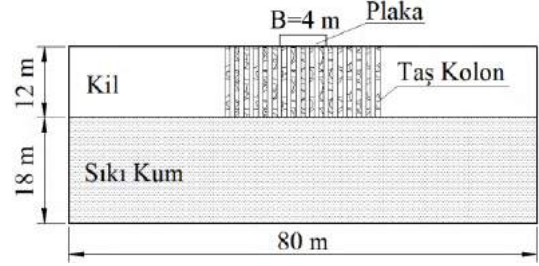
Sayısal analizlerde zemin modelinin boyutu hakkında literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle deprem etkisi altında yapılan dinamik analizlerde zemin modelinin boyutları büyük önem arz etmektedir. Derinlik ve genişliğin belirli ölçülerin altında seçilmesi analiz sonucunu doğrudan etkilemektedir. Nitekim bu konuda yapılmış bir çalışmada zemin genişliğinin deprem sırasında meydana gelen oturma üzerindeki etkisi araştırılmış ve 40 m genişliğin altındaki değerlerde oturma miktarının azalarak hatalı sonuçlar bulunmasına sebep olduğu görülmüştür. 80 m genişlik ile yapılan analizlerde ise elde edilen oturma miktarının 40 m ile aynı olduğu gösterilmiştir (Alzabeebee, 2020). Bu ve benzer çalışmalarda göz önünde tutularak analizlerde kullanılan zemin modelinin genişliği 80 m derinliği ise 12 m yumuşak kil, 18 m çok sıkı kum olmak üzere toplamda 30 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca yükün zemine düzgün bir şekilde aktarılması için modelin ortasına 4 m genişliğinde

plaka temel yerleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan zemin modeli Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Taş kolonsuz zemin modeli

Taş kolonsuz zeminlerin analizlerinin tamamlanmasının ardından zemine 60 cm çapında temel genişliğinin 3 katı kadar (3B) derinlikte ve taş kolonların merkezleri arası mesafenin (s), taş kolonların çapına (D) oranı 2 ve 3 (s/D=2-3) olacak şekilde iyileştirme yapılmıştır. Bu iyileştirme sayesinde temelden gelen yük 12 m derinliğindeki problemlili zemin tabakasından, hemen altta yer alan çok sıkı kum tabakasına aktarılmıştır. Şekil 2’de taş kolonlu zemin modeli görülmektedir.



Şekil 2. Taş kolonlu zemin modeli

Bu çalışmada, zemine zamana bağlı bir ivme uygulanarak deprem simule edileceği için ve bu analiz sırasında zeminin sönümlenmesine ihtiyaç duyulacağı için oluşturulan modellerde HSmall malzeme modeli kullanılmıştır. Zemin sönümlenmesi, genel olarak radyasyon sönümlenmesi ve histeretik (malzeme) sönümlenme olarak ikiye ayrılabilir. Bunları ayırmak zordur, ancak PLAXIS'in sonlu eleman modellemesi sayesinde radyasyon sönümlenmesinin açıklandığını rahatlıkla söyleyebiliriz. Öte yandan, histeretik sönümlenme, elastik ve plastik gerilmeler ile daha da detaylandırılabilir. Zemin modelleri (LE hariç), gerilme noktaları, dinamik hesaplamalarda sönümlenmeye yol açacak şekilde (ilgili zemin modelinin) hata kriterine ulaşırsa plastik gerilmeler oluşturulabilir. Kısacası, HSmall modeli, modül indirgeme eğrilerinin yardımıyla dinamik uygulamada histeretik sönümlenmeyi modelleme yeteneğine sahiptir (Raikar, 2016) (Burada kayma modülü G, kayma geriliminin logaritmik bir fonksiyonu olarak çizilir.)

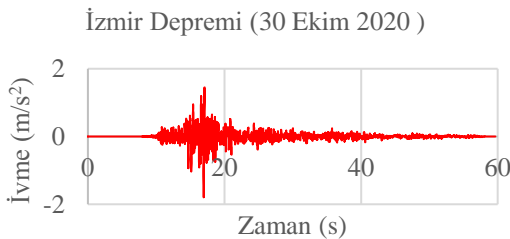
Zeminin kayma modülünün artan gerinim genişliği ile doğrusal olmayan bir şekilde azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle, zeminlerin gerçekten elastik kabul edilebileceği gerinim aralığı çok küçüktür. Orijinal HS modeli, yükleme ve yeniden boşaltma sırasında elastik malzeme davranışını varsayar. Kayma modülündeki bu azalma, sertlik azaltma eğrisi kullanılarak formüle edilen HSmall modeli tarafından dikkate alınır. Analizlerde kullanılan kil, sıkı kum ve taş kolonun malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri

Malzeme	Kil	Sıkkı kum	Taş kolon
Drenaj Durumu	Drenajsız	Drained	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_k (kN/m ³)	18	20	19
Suya Doygu Birim Hacim Ağırlık, γ_d (kN/m ³)	21	20	22
Permabilite, k_x, k_y (m/gün)	1×10^{-8}	10	100
Drenajlı üç eksenli deneylerle elde edilen sekant rijitliği, E_{50}^{ref} (kN/m ²)	902,3	60x103	27,07x10 ³
Drenajlı odometre deneyleriyle elde edilen tanjant rijitliği, E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	1100	60x103	27,07x10 ³
Elastik yüklem/boşaltma rijitliği, E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	2707	180x103	69,23x10 ³
Zeminin gerilme bağımlı sertliği, power (m)	1	0.4	0,5
Poisson Oranı, ν	0.3	0.15	0,3
Kohezyon, c , (kN/m ²)	15	1	1×10^{-9}
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	5	40	35
Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısı, K_0	0.84	0.344	0,32
Maksimum kayma modülü, G_{0ref}	2×10^4	10×10^4	1×10^3
Kayma birim deformasyonu, γ_{07}	1×10^{-3}	0.15×10^{-3}	$1,5 \times 10^{-4}$

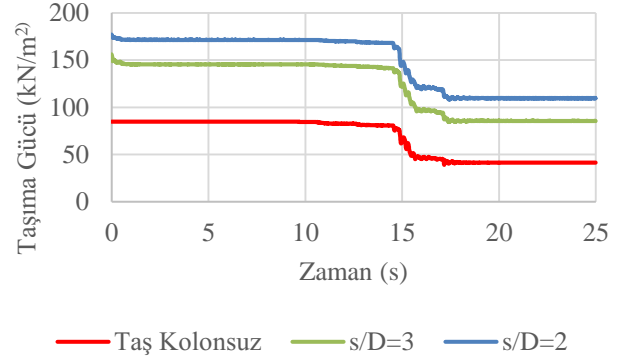
3. Sonlu Elemanlar Analizi

İlk olarak taş kolonlu ve taş kolonsuz zemin modellerine statik bir deplasman yükü uygulanarak limit taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Yapılan bu analizlerde taş kolonsuz zemin modelinin taşıma gücü 84,78 kN/m² olarak bulunurken, taş kolonlarla iyileştirilen zemin modelinin taşıma gücü s/D=3 ve s/D=2 için sırasıyla 155,95 kN/m² ve 177,05 kN/m² olarak bulunmuştur. Daha sonra İzmir depremine ait Şekil 3'te görülen ivme kayıtları kullanılarak dinamik analizler yapılmıştır.



Şekil 3. İzmir depremi ivme-zaman grafiği

Şekil 3'teki ivme-zaman verileri, zemin modellerinin tabanından bir deplasman yükü yardımıyla sisteme etki ettirildikten sonra taşıma gücü değerlerinde zamana bağlı olarak azalmalar yaşanmıştır. Özellikle taş kolonsuz zemin modelinde İzmir depremi etkisinde yapılan analizde taşıma gücünde kayda değer azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Taş kolonsuz ve taş kolonlu zemin modellerine ait dinamik zamana bağlı taşıma gücündeki değişimler Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Taşıma gücü - zaman

4. Sonuçlar ve Öneriler

Şekil 4'teki grafik incelendiğinde 25 saniye süreyle uygulanan deprem sonrasında taş kolonsuz zeminin taşıma gücü 41,36 kN/m², taş kolon aralığı s/D=3 olan zemin modelinin taşıma gücü 85,52 kN/m² ve taş kolon aralığı s/D=2 olan zemin modelinin taşıma gücü 109,72 kN/m² olarak bulunmuştur.

Taş kolonsuz zeminde taşıma gücü deprem sonrasında %51 azalırken, s/D=3 ve s/D=2 aralıklarla uygulanmış taş kolonlu zeminlerin taşıma gücü değerleri sırasıyla %45 ve %38 azalmıştır. Sonuç olarak deprem sırasında taşıma gücünde minimum kayıp s/D=2 aralıklarla uygulanan taş kolonlu zemin modelinde meydana gelmiştir. Taş kolonsuz zemin modelinde ise taşıma gücü yarıdan fazla kayba uğrayarak bir yapı açısından ciddi tehlike arz edecek derecede azalmıştır. Bu nedenle deprem sırasındaki taşıma gücü kayıpları son derece önemli olup, yapılar inşa edilmeden önce, olası bir deprem durumunda zeminde meydana gelebilecek taşıma gücü kayıpları, nonlineer sayısal analiz yapabilen sonlu elemanlar programlarıyla değerlendirilebilir. Elde edilen sonuçlara göre gerekli görülürse, söz konusu zeminde iyileştirme yapılması uygun olacaktır.

Kaynakça

- Alzabeebee, S. (2020). Seismic settlement of a strip foundation resting on a dry sand. *Natural Hazards*, 103, 2395–2425. University of Al-Qadisiyah, Al-Qadisiyah, Iraq.
- Azzam, WR. (2015). Finite element analysis of skirted foundation adjacent to sand slope under earthquake loading. *HBRC J* 11(2):231–239
- Karamitros, DK., Bouckovalas, GD., Chaloulos, YK. (2013). Insight into the seismic liquefaction performance of shallow foundations. *J Geotech Geoenvironment Engineering*. 139(4):599–607
- Karamitros, DK., Bouckovalas, GD., Chaloulos, YK., Andrianopoulos, KI. (2013). Numerical analysis of liquefaction-induced bearing capacity degradation of shallow foundations on a two-layered soil profile. *Soil Dynamic Earthquake Engineering*. 44:90–101

- Karamitros, DK., Bouckovalas, GD., Chaloulos, YK. (2013). Seismic settlements of shallow foundations on liquefiable soil with a clay crust. *Soil Dynamic Earthquake Engineering*. 46:64–76
- Mansour, MF., Abdel-Motaal, MA., Ali AM. (2016). Seismic bearing capacity of shallow foundations on partially liquefiable saturated sand. *International Journal of Geotechnical Engineer*. 10(2):123–134
- Nguyen, QV., Fatahi, B., Hokmabadi, AS. (2016). The effects of foundation size on the seismic performance of buildings considering the soil–foundation–structure interaction. *Structural Engineering and Mechanics*. 58(6):1045–1075
- Raikar P. (2016). Modelling Soil Damping for Suction Pile Foundations. *Master of Science Thesis*, Delft University of Technology.
- S. Kholdebarin, A., Massumi, A., Davoodi, M., Tabatabaiefar, HR. (2008). Comparing of normal stress distribution in static and dynamic soil–structure interaction analyses. In: AIP conference proceedings, pp 650–657
- S. Kholdebarin, A., Massumi, A., Davoodi, M. (2016). Seismic bearing capacity of shallow footings on cementimproved soils. *Earthquake Structure*. 10(1):179–190
- Vivek, P. (2011). Static and dynamic interference of strip footings in layered soil. *Master Thesis*. Indian Institute of Technology Kanpur, India



Derin Öğrenme Mimarilerini Kullanarak Katarakt Tespiti

Muhammed Fatih Ağalday^{1*}, Ahmet Çınar²

^{1*} Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Programcılığı, Mardin, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2635-0661), fatihagalday@artuklu.edu.tr

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4324-4964), acinar1972@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1012694)

ATIF/REFERENCE: Ağalday, M. F. & Çınar, A. (2021). Derin Öğrenme Mimarilerini Kullanarak Katarakt Tespiti. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1428-1433.

Öz

İnsanın yaşam kalitesini olumsuz olarak etkileyen görme kayıplarını daha erken bir dönemde teşhis etmek önemlidir. İnsan yaşının ilerlemesi ile birlikte görme bozuklukları ve bazen tamamen görme kaybına neden olmaktadır. Gözün anatomik yapısında bulunan anormallikler göz hastalıklarının erken dönemlerinde göz yapısına ait görsellerle de tespit edilebilmektedir. Katarakt dünyada milyonlarca insanı etkileyen görme bozukluğunun en önemli nedenidir. Otomatik tanı sistemleri ile sağlık hizmeti kullanımı hafifleyerek uzmanlara yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu makalede renkli fundus görüntüleri kullanılarak katarakt hastalığına otomatik tanı sistemi ele alınmıştır. Katarakt hastalığının otomatik tanımlanması için evrişimli sinir ağı (CNN) ve derin artıkt ağ (DRN) kullanılarak sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Veri seti 5000 hastanın sağ ve sol gözlerine ait renkli fundus fotoğrafları ve doktorların her bir hastanın sağ ve sol gözüne konulmuş teşhisler için anahtar kelimeler ile yapılandırılmış bir veri tabanıdır. Bu veri seti gerçek yaşamda hasta gruplarını temsil etmektedir. Çinli bir şirket olan Shanggong Medical Technology Co., Ltd. Şirketi tarafından farklı hastane ve tıp merkezlerinden elde edilen veriler toplanmıştır. Veri setinde hastalar 8 farklı etikete sınıflandırma yapılmıştır. Renkli fundus görüntüleri sayesinde farklı evrelere ait katarakt semptomlarına ait özellikler bulunmaktadır. Önerilen otomatik tanı sistemi güncel sınıflandırma sistemlerine oranla daha başarılı olduğu görülmektedir. DRN yönteminin CNN yöntemine göre doğruluk oranına göre daha yüksektir. CNN modelinde doğruluk oranı %89 civarında iken DRN modelinde doğruluk oranı %95 olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme , Katarakt, Evrişimsel Sinir Ağları, Derin Kalıntı Ağı, Sınıflandırma.

Cataract Detection Using Deep Learning Architectures

Abstract

It is important to diagnose vision loss, which negatively affects the quality of life of people, at an earlier stage. With the advancement of human age, it causes visual disturbances and sometimes complete vision loss. Abnormalities in the anatomical structure of the eye can also be detected with visuals of the eye structure in the early stages of eye diseases. Cataracts are the most important cause of visual impairment affecting millions of people around the world. It aims to help experts by reducing the use of health services with automatic diagnosis systems. In this article, the automatic diagnosis system for cataract disease using color fundus images is discussed. Classification method using convolutional neural network (CNN) and deep residual network (DRN) was used for automatic identification of cataract disease. The dataset is a structured database with color fundus photographs of 5000 patients' right and left eyes and keywords for doctors to diagnose each patient's right and left eyes. This dataset represents real-life patient groups. Shanggong Medical Technology Co., Ltd., a Chinese company. Data from different hospitals and medical centers were collected by the company. In the data set, patients were classified into 8 different labels. Thanks to the color fundus images, there are features of cataract symptoms of different stages. It is seen that the proposed automatic diagnosis system is more successful than the current classification systems. The accuracy rate of the DRN method is higher than the CNN method. While the accuracy rate in the CNN model is around 89%, the accuracy rate in the DRN model is 95%.

Keywords : Deep Learning , Cataract, Convolutional Neural Networks, Deep Residual Network, Classification

1. Giriş

Sağlık sistemlerinde hastalıkların daha kısa sürede teşhis edilebilmesi modern sağlık sisteminin önemli bir parçasıdır. En etkili çözümlerden biri sinir ağları kullanılarak görüntü sınıflandırılması ile teşhis yapılmasıdır. Sağlık sistemlerinin yükünü hafifletmede otomatik teşhis modelleri önemli bir rol almaktadır. Sağlık sistemlerinde hastalıkların daha kısa sürede teşhis edilebilmesi modern sağlık sisteminin önemli bir parçasıdır. En etkili çözümlerden biri sinir ağları kullanılarak görüntü sınıflandırılması ile teşhis yapılmasıdır. Sağlık sistemlerinin yükünü hafifletmede otomatik teşhis modelleri önemli bir rol almaktadır. Göz hastalıkları ve cerrahi tıp bilimi bilgisayar yardımıyla tanı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir alan haline geldi. Dünya sağlık örgütü tarafından tüm dünyada katarakt nedeniyle körlük oranının tüm hastalıklar arasında oranının %51 olduğu rapor edilmiştir. Bilgisayar destekli teşhis sistemleri görme bozukluklarının teşhisinde önemli bir rol almaktadır.

Oftalmolojide, farklı cihazlardan elde edilen görüntüler göz hastalıkları teşhisi için bilgisayar destekli tahmin etme, görünütüyü sınıflandırma için çok önemlidir. Son yıllarda yapay zekalı sistemler görüntü teşhis ve tahminlerinde önem kazanmıştır. Bu çalışmamızda katarakt için otomatik teşhis mimarisi ortaya koyarak fundus görüntülerinin iki sınıfta sınıflandırılarak analiz yapılmıştır.

Retina görüntüleme cihazları ile elde edilen fundus görüntüler, tıbbi görüntülemenin ilk ortaya çıkışından bu yana tanı ve teşhis için geleneksel sınıflandırıcılar kullanılmıştır. Yang ve arkadaşları otomatik katarakt teşhisi için bir destek vektör makinesinden ve bir geri yayılım sinir ağından oluşturulmuş bir topluluk modeli önermektedir [1],[2] ve bu yaklaşımlar için %90'ın üzerinde doğruluk oranına ulaşmaktadırlar. Oftalmik görüntüler için çeşitli geleneksel ve modern sınıflandırıcıları karşılaştıran kapsamlı literatür taraması bulunabilir [3],[4].

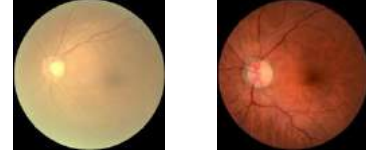
Fundus görüntülerinin derin öğrenmeye dayalı sınıflandırması için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır [5],[6],[7]. Katarakt teşhisinde derin öğrenme yöntemleri yeterince uygulanmamıştır. Katarakt ile ilgili yapılan bir çalışmada, bulut teknolojisi ile hastaneler arasında işbirliği yapılarak yapay zeka tabanlı karar verme sistemleri oluşturulabilir [8]. Otomatik teşhis için farklı çözümler sunulmuştur. Bu yöntemler sayesinde katarakt hastalığının erken döneminde teşhis etmede önemli derecede başarı elde edilmektedir.

Derin öğrenmeye dayalı mimariler geliştirilerek daha yüksek doğruluk oranlarına ve düşük hesaplama maliyetine sahip algoritmalar ile teşhis ve tanıma oranı iyileştirilebilir. Katarakt ve gloucoma gibi ciddi göz hastalıklarının görsellerini temsil eden geniş bir veri setinin kullanılması göz hastalıklarının tespitinde günümüzde karşılaşılan en büyük zorluklarından biridir[9],[10]. Sonuç olarak katarakt hastalığının otomatik olarak tespit edilemesi için bu sistemlere hala ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veritabanı Shangong Medical Technology Co. şirketi tarafından Çin'deki farklı hastanelerden/sağlık merkezlerinden elde edilen gerçek hasta bilgilerini temsil eden 5000 hastanın sağ ve sol gözüne ait 6392 renkli fundus görüntülerinden oluşmaktadır. Her bir fundus görseli farklı çözünürlük ve piksel değerlerine sahiptir. Uzman doktorların her bir renki fundus görüntülerini tanımlayan teşhis

anahatar kelimeler ile yapılandırılmış olup Kaggle Ocular Disease Recognition veritabanı elde edilmiştir. Hastalara ait fundus görüntüler Normal (N), Diyabet (D), Glokom (G), Katarakt (C), Yaşa Bağlı Makula Dejenerasyonu (A), Hipertansiyon (H), Patolojik Miyop (M), Diğer hastalıklar /anormallikler (O) olmak üzere sekiz etikette sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışmada sınıflandırma için kullanılan her bir sınıfa ait örnek fundus görüntüler Şekil 1' de verilmiştir. Veri kümesi, farklı aşamadaki katarakt hastaları için çeşitli kümeler içerir ve bu yapay zeka tabanlı bir sınıflandırma sisteminin başarısı için çok önemlidir.



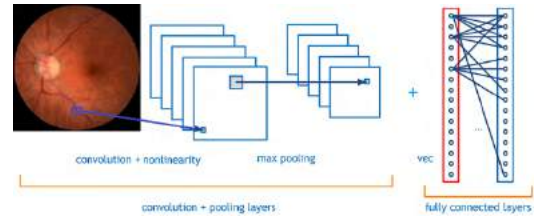
(a) Katarakt (b) Katarakt Olmayan

Şekil 1. Her Sınıf için Örnek Görseller

2. Yöntem

2.1. Evrişimsel Sinir Ağı (CNN)

Bu çalışmada, ikili sınıflandırma problemini çözmek için Evrişimli Sinir ağı kullanılmıştır. Evrişimsel Sinir Ağları [11], evrişim katmanları olarak adlandırılan ilk katmanların hiyerarşik bir özellik çıkarıcı olarak hareket edecek şekilde yapılandırıldığı çok katmanlı algılayıcılarından oluşan bir yapıya sahiptir. Yapay sinir ağının kullanılan yapısı şekil 2'de görülebilir. Konvolüsyonel sinir ağı, öznetelik çıkarma ve sınıflandırma olmak üzere iki ana bölüm olarak yapılandırılmıştır. Özellik çıkarma bölümünde her bir blokta 1 konvolüsyon ve 1 havuzlama katmanında oluşan toplamda 5 blok bulunmaktadır. Sınıflandırma kısmında ise tam bağlantılı katman bulunmaktadır. CNN'nin detayları kalan bölümlerde açıklanacaktır.



Şekil 2. Evrişimsel Sinir Ağının Yapısı

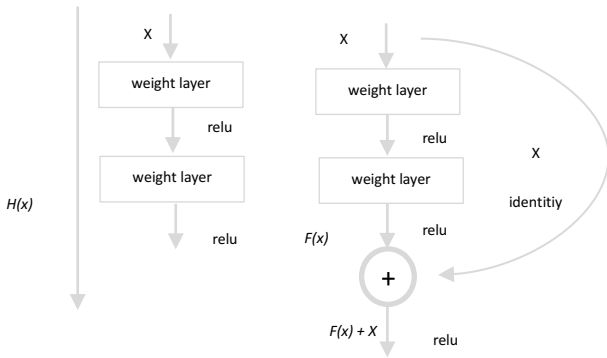
Uzman doktorların her bir hastanın sağ ve sol gözüne ait teşhis için kullandıkları anahtar kelimeler ile veri kümesindeki renki fundus görüntüleri eşleştirmek için anahtar kelimelerin olduğu csv dosyası kullanılır. Her bir hastanın sağ ve sol göze ait görüntülerden hangilerinin katarakt olduğu farklı değişkenlerde tutularak daha sonra tüm katarakt anahtar bilgisine sahip sağ ve sol göz bilgisi tek bir değişkende tutulur. Aynı işlemler hastaların sağlıklı olan sağ ve sol gözlerine ait görüntüler içinde uygulanır. Renkli fundus veri kümesindeki tüm görüntüler 0-255 arasında ölçeklendirilir ve görüntü boyutu 224 x 224 formatına dönüştürülür. Hem Evrişimli Sinir Ağı hem de Derin Kalıntı Ağı için aynı veri kümesindeki veriler kullanılır.

Evrişimli Sinir Ağı yönteminde öznetelik çıkarımı, geleneksel öznetelik çıkarma yöntemleri yerine evrişim çekirdekleri

kullanılarak yapılır. Çeşitli Evrişimsel katmanlardaki çoklu filtreler, bir sonraki aşamada CNN'nin daha derin katmanlarındaki tamamen bağlı ağlara beslenecek olan ayırt edici özellikleri çıkarır. Özellik çıkarımı yapabilmek için şekil 2'de görüldüğü gibi farklı sayılarda blok kullanılmaktadır. Tüm blokta evrişim ve havuz katmanları bulunmaktadır. Evrişim katmanlarındaki çekirdek sayısı ve boyutları farklı olabilir. Havuzlama katmanındaki çekirdek boyutu 2 x 2 veya 3 X 3 gibi ve daha farklı şekillerde havuzlama katmanları da kullanılmaktadır. Blok yapılarında farklı sayılarda katmanlar olabilir. Örneğin her blokta farklı sayılarda çekirdek yapısı ve ayrıca her blokta tanH, softmax ve ReLU gibi farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Her bir filtrelemede öznitelik haritaları olarak da adlandırılan öznitelikler çıkarılır. Bu çalışmada kullanılan klasik CNN yapısı evrişim katmanı ilk blokta 64, ikinci blokta 128, üçüncü blokta 256 ve diğer blokta 512 çekirdekli blok yapısı bulunmaktadır. Havuzlama katmanında çekirdek boyutu 2 x 2 ve her katmanda ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Klasik CNN algoritması sınıflandırma işlemi yapılırken evrişimsel sinir ağının son bloğu, görüntünün katarat olup olmadığını sınıflandırmak için kullanılan çıkış nöronlarını içerir. En sondaki bloğa tam bağlı blok denir. Tam bağlantılı blokta iki katmadan oluşmaktadır. Bu katman ReLU aktivasyonlu ve belirlenen nörona sahiptir ve son katman lineer aktivasyonlu 2 nörona sahiptir. Her örnek katarat ya da katarat olmayan olarak sınıflandırılır. CNN, ikili çapraz entropi kaybı fonksiyonu ile eğitilmiştir ve adaptive momentum (adam) optimizasyonu ile optimize edilmiştir. Adam optimizasyonunda sabit öğrenme oranı yoktur.

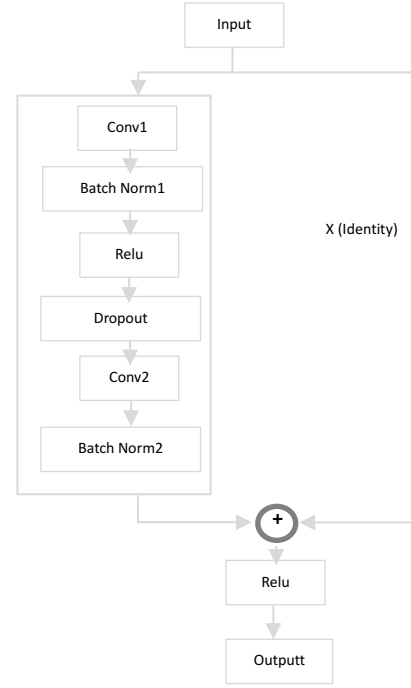
2.2. Derin Artık Ağ (DRN)

Derin Artık Ağ (DRN) ve geleneksel Evrişimli Sinir Ağları (CNN) arasındaki en önemli fark, DRN'lerin eğitim sırasında gradyanların erken katmanlara geri yayılması için açık bir yol sağlamasıdır [12]. CNN'de, $H(x)$, şekil 5'teki CNN'nin bir kısmını haritalamaktadır. DRN'de, $H(x)$, $F(x) + x$ olarak tanımlanır, burada x , ağın bir bölümünün girişidir. Bu nedenle önceki katmanlardaki değerler daha kolay tanımlanabilir.



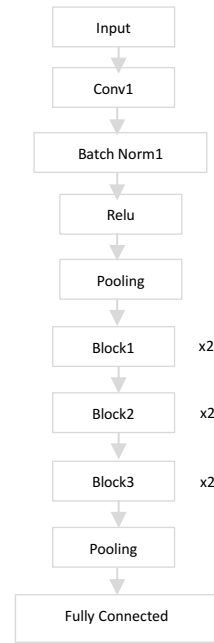
Şekil 3. Sol: Geleneksel CNN, Sağ: Artık Blok

Derin Artık Ağ, şekil 4'teki temel artık bloklardan oluşur. Temel artık blok mimarisi, sırasıyla evrişim, toplu normalleştirme (BN), ReLU, dropout, Evrişim, toplu normalleştirme katmanlarından oluşur. ReLU, kimlik fonksiyonu (X) ile eklendikten sonra bloğun sonuna uygulanır.



Şekil 4. Temel Artık Blok

Deep Residual Network mimarisi, Şekil 5'de görüldüğü gibi sırasıyla evrişim, Batch normalleşme, ReLU, Havuzlama, Block-1,2,3,... havuzlama ve tam bağlantılı katman serilerinden oluşmaktadır.



Şekil 5. Derin Artık Ağ

Önerilen algoritmada DRN öznitelik çıkarma kısmı CNN gibidir. Bu, geleneksel bir özellik çıkarma yöntemi olmadığı anlamına gelir. DRN'de özellik çıkarımı için evrişimli katmanlar kullanılır. DRN yapısı için özellik çıkarımına örnek olarak şekil 5'te görüldüğü gibi üç tip blok kullanılmıştır. Her bir evrişim katmanı farklı çekirdek sayısı ve çekirdek boyutuna sahip olabilir. Tam tersi bir durum da söz konusu her blok aynı evrişim katmanı içeren mimariye de sahip olabilir. Blokların mimarisi aynı olsa bile bloklardaki çekirdek sayıları birbirinden farklı

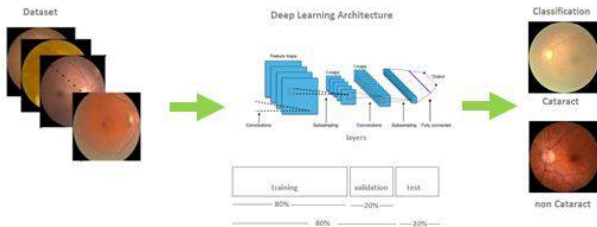
olabilir. Örnek olarak Blok1 yapısında ilk evrişim katmanında 64 çekirdek sayısına sahip iken ve ikinci evrişim katmanının çekirdek sayısı 128 olabilir. Bloklardaki tüm evrişimli katmanlarda aynı şekilde farklı çekirdek boyutları kullanılabilir. Klasik CNN yapısında olduğu gibi tüm katmanlar için Relu gibi farklı aktivasyonlar tercih edilebilir. Özellik çıkarımından sonra havuzlama uygulanır ve en son DRN'nin sınıflandırma kısmı olacaktır. Evrişimsel sinir ağının son bloğu, görüntülerde katarakt olup olmadığını sınıflandırmak için kullanılan çıkış nöronlarını içerir. Son bloğa tam bağlı (FC) blok denir. DRN, çapraz entropi kaybı fonksiyonu ile eğitilebilir ve rmsprop, adam,SGV gibi optimizeler ile optimize edilebilir.

3. Kullanılan Yöntem

Katarakt hastalığını etkili bir şekilde tanımlamak için derin bir sinir ağı tabanlı sınıflandırma sistemi önerilmiştir. Önerilen metodoloji, Şekil 6'da gösterildiği gibi adımlar takip edilerek katarakt hastalığının otomatik olarak sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Veri seti Kaggle veri tabanından elde edilmiştir ve 7000 renkli fundus görüntüsünden oluşmaktadır (594 katarakt ve geri kalan görüntüler katarakt olmayan). Diyagramın ilk adımı, veri setinden oluşan tüm görüntülerin girişini gösterir. Renkli fundus görüntüleri daha sonra güçlü olan derin özellik çıkarma mimarisi olan VGGNet ile derin öğrenme tekniğinin ön eğitimi için kullanıldı. Katarakt görüntülerinin tespiti için VGGNET derin öğrenme mimarisinden elde edilen özellikler kullanılmıştır. Tespit aşamasında, tüm verilerin %80'i eğitim ve doğrulama için ve ayrıca tüm verilerin %20'si test için rastgele kullanılmıştır.

Önerilen yaklaşımın yardımıyla, çok etkili ve düşük maliyetli bir katarakt sistemi teşhisi tasarlanmıştır. Ayrıca katarakt tanısının farklı evrelerde konulması için dikkate değer bir doğruluk oranı sağlanmakta ve böylece vakada yanlış tanıdan kaçınılmaktadır. Yukarıda belirtilen adımlar, veri kümesini kullanarak kataraktı doğru bir şekilde tanımlamak için önerilen metodoloji tarafından yürütülmüştür.

Bu çalışma python ortamında gerçekleştirilmiştir. Önceden eğitilmiş VGGNet yapısının eğitimi, transfer öğrenme kullanılarak gerçekleştirildi. Eğitim sürecinde batch boyutu 32 ve epoch sayısı 100'dür. Her epoch için 30 olmak üzere toplam 3000 iterasyon gerçekleştirilmiştir. Başlangıç için öğrenme oranı 0.001'dir ve optimize edici olarak Adam seçilmiştir. Bu çalışmada validasyon veri seti, eğitim veri setinin %20'si olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada eğitilmiş CNN mimarilerinin eğitim, doğrulama ve test çizelgeleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Önerilen Metodolojinin Blok Şeması

Derin Öğrenme Mimarilerinde Transfer öğrenimi, daha önce eğitilmiş mimarilerin son katmanı değiştirilerek yeniden eğitilmesine olanak tanır. Bu çalışmada, bir önceki katmanın parametrelerini tutan ve bu mimarilerin son katmanını kaldıran, ardından son katmanı yeniden eğiten transfer öğrenme yöntemi

kullanılmıştır. Son katmandaki çıktı düğümlerinin sayısı, sınıflandırılan veri kümesi kategorilerinin sayısına eşittir.

Bu mimaride ReLU etkinleştirme işlevini kullanan evrişim katmanı içerir. Maksimum havuzlama işlemi evrişimden sonra gerçekleştirilir. Softmax katmanı, birkaç tam bağlantılı sinir ağı katmanı ile bu mimaride sınıflandırma yapmak için kullanılır. VGGNet sağlam bir mimariye sahip olsa da AlexNet ile benzer bir yapıya sahiptir. VGGNet'in genel yapısına bakıldığında son zamanlarda yapılan çalışmalarda kullanılan mimarinin yerini aldığı görülmektedir [13],[14]. VGGNet'in mimarisinde sadece 3x3 boyutlu filtreler kullanılmaktadır. VGGNet yapısında kullanılan filtreler genellikle bir görüntünün özneliğini çıkarmak için tercih edilmektedir. VGGNet modelinin son katmanı dışındaki tüm katmanlar dondurulmuş ve katarakt hastalığı tespiti için ağırlık değerleri aktarılmıştır. Ayrıca, VGGNet beş VGG bloğuna sahiptir ve bu blokların her biri iki Convolution ve Relu katmanı içerir. Önerilen metodolojinin genel performansını hesaplamak için istatistiksel metrikler doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve Hata oranları olarak sunulmaktadır. Her metrik için matematiksel denklem sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (1)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$\text{Hata} = \frac{FP + FN}{TP + FP + FN + TN} \quad (4)$$

Yukarıda verilen denklemlerde TP, FP , TN ve FN bir karışıklık matrisinin sırasıyla Doğru Pozitif, Yanlış Pozitif, Doğru Negatif ve Yanlış Negatif ifade etmektedir. Önerilen sistemin uygulaması için Intel (R) Core (TM) i7-10750H CPU 2.60 GHz, 24 GB 2666MHz RAM ve 6GB GDDR6 NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti grafik işlem birimi donanımı üzerinde yürütülmektedir.

4. Tartışma

Bu çalışmada klasik CNN ile derin öğrenme mimarisi kullanılarak katarakt hastalığının teşhisi gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu metodoloji, geniş bir fundus renkli görüntü veri seti üzerinde uygulanmaktadır ve sistemlerin performansı, alt bölümde evrensel metrikler ile kıyaslama açısından sunulmaktadır. Sonuç olarak, klasik CNN ile önceden eğitilmiş mimariyi kullanan ve önerilen sistemin VGGNet doğruluk oranları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki doğruluk sonuçları göz önüne alındığında, önerilen her iki metodoloji de literatürde tanıtılan tanımlama sistemlerine kıyasla dikkate değer sonuçlar olan %90'ın üzerinde doğruluk oranlarına ulaşmaktadır [15], [16], [17].

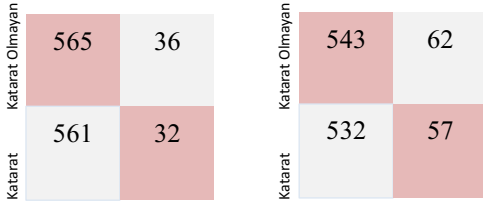
Tablo 1. İstatistiksel performans ölçütleri

Performans Metrikleri	VGGNet Mimarisi	Klasik CNN Mimarisi
Doğruluk (%)	94.3	90
Duyarlılık	0.94	0.89
Kesinlik	0.95	0.90
Hata	0.05	0.1

VGGNet karmaşıklık matrisinde katarakt olmayan doğru tespit sayısı 565, yanlış tespit sayısı 36, katarakt olanların doğru tespit

sayısı 561, yanlış tespit sayısı 32 olarak elde edilirken, klasik CNN ile katarakt olmayan doğru tespit sayısı 543, yanlış tespit sayısı 62, katarakt olanların doğru tespit sayısı 532, yanlış tespit sayısı 57 olarak elde edilmiştir. Değerlendirme VGGNet mimarisi için karışıklık matrisinde, katarakt testi görüntülerinin %94,6'sı gerçek pozitif (TP) ve %5,4'ü yanlış pozitif (FP) olarak tespit edilirken, katarakt olmayan görüntülerin %94'ü doğru negatif (TN) ve %6'sı yanlış negatif (FN) olarak hesaplanır. Benzer şekilde CNN mimarisi için karışıklık matrisi dikkate alındığında, katarakt olmayan görüntülerin % 89,76'sı (TP) ve %10,24'ü (FP) olarak bulunurken, katarakt test görüntülerinin %90,32'si (TN) ve %9,68'i (FN) olarak hesaplanmıştır. Bu analizler, halk sağlığı sistemleri ağlarına entegrasyonu durumunda önerilen sistemlerin performansı için kapsamlı bir perspektif sağlar.

Önerilen metodolojinin performans metrikleri değerlendirilmiş ve Tablo 1' de sunulmuştur, duyarlılığın iki mimari için eşit olduğu, VGGNet mimarisi için kesinliğin 0.95 ve Klasik CNN mimarisi için 0.90 olduğu görülmektedir. Duyarlılık metriği her iki mimari için eşit olarak elde edilir. İki mimari için kesinlik değerleri değerlendirildiğinde, retina görüntülerinden kataraktı tespit etmede VGGNet mimarisinin Klasik CNN mimarisine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.



(a) VGGNet Mimarisi (b) Klasik CNN Mimarisi

Şekil 7. Kullanılan Mimarilerin için Karışıklık Matrisi

5. Sonuçlar

Son yıllarda insan gözü hastalığının otomatik tespiti ve yönetimi için yapay zeka tabanlı çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, kayda değer doğruluk oranlarına ulaşan otomatik tanımlama ve yönetim sistemlerini devreye sokarak halk sağlığı kuruluşlarının ve hastanelerin yükünü azaltarak önemli bir boşluğu doldurmuştur. Son çalışmalar, derin öğrenme tabanlı mimarilerin, geleneksel sınıflandırıcılara kıyasla oftalmolojik hastalıkların teşhisi için daha kabul edilebilir performans gösterdiğini göstermektedir. Katarakt tespit sistemlerinin yaygınlaşması ve bu sayede körlüğün önlenmesi için bilgisayar destekli teşhis sistemlerinin teletip sistemlerine entegre edilmesi önemli bir noktadır. Bu bağlamda, bilgisayar destekli karar/yönetim sistemlerinin sağlık sistemlerine gerçek zamanlı entegrasyonu için önceki bölümlerde tartışılan çeşitli uygulama parametrelerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, katarakt hastalıklarının otomatik teşhisi için VGGNet gibi sağlam, önceden eğitilmiş derin öğrenme mimarisi kullanılmıştır. Farklı evrelerdeki katarakt hastalarının çeşitli renkli fundus görüntülerini içeren veri seti, yeni, benzersiz ve geniş bir veri setidir. Bu nedenle, bu özel veri kümesi üzerinde yürütülen mimarilerin değerlendirilmesi, hastalığın otomatik teşhisinin olasılıkları ve performans parametreleri için açık bir perspektif verir. Çalışma, önerilen metodolojiyi katarakt hastalarından elde edilen geniş bir fundus görüntü veri seti üzerinde uygulayarak literatüre özgün bir katkı sağlamıştır. Metodoloji, katarakt için otomatik teşhis görevini %95'in üzerinde umut verici doğruluk oranlarıyla yerine getirdi. Bu sonuç, katarakt hastalığı için sağlam

sınıflandırma sistemleri açısından oldukça iyi sonuçlar ortaya koymaktadır.

Kaynakça

- [1] Yang J J, Li J, Shen, R, Zeng Y, He J et al.(2016). *Exploiting ensemble learning for automatic cataract detection and grading*. Computer Methods and Programs in Biomedicine; 124: 45–57. doi:10.1016/j.cmpb.2015.10.007
- [2] Yang M, Yang J J, Zhang Q, Niu Y, Li J. *Classification of retinal image for automatic cataract detection*, In: *IEEE International Conference on e-Health Networking, Applications Services*; Lisbon, Portugal; 2013. pp. 674–679. doi:10.1109/HealthCom.2013.6720761
- [3] Wang Liming, Zhang K, Liu X, Long E, Jiang J, An Y et al. (2017). *Comparative analysis of image classification methods 5 for automatic diagnosis of ophthalmic images*. Scientific Reports; 7: 1–11. doi:10.1038/srep41545
- [4] Gali H E, Sella R, Afshari N A. (2019). *Cataract grading systems: a review of past and present*. *Current opinion in ophthalmology*; 30(1): 13-18. doi: 10.1097/ICU.0000000000000542
- [5] Grewal P S, Oloumi F, Rubin U, Tennant M T S. (2018). *Deep learning in ophthalmology: a review*. *In Canadian Journal of Ophthalmology*; 53(4): 309–313. doi:10.1016/j.jcjo.2018.04.019
- [6] He J, Li C, Ye J, Qiao Y, Gu L. (2021). *Multi-label ocular disease classification with a dense correlation deep neural network*. *Biomedical Signal Processing and Control* ; 63: doi:10.1016/j.bspc.2020.102167
- [7] Yoo T K, Ryu I H, Kim J K, Lee I S, Kim J S et al. (2020). *Deep learning can generate traditional retinal fundus photographs using ultra-widefield images via generative adversarial networks*. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*; 197: doi:10.1016/j.cmpb.2020.105761
- [8] Long E, Lin H, Liu Z, Wu X, Wang L, et al. (2017). *An artificial intelligence platform for the multihospital collaborative management of congenital cataracts*. *Nature biomedical engineering* ; 1(2): 1-8. doi: doi.org/10.1038/s41551-016-0024
- [9] Zhang H, He Z. (2019). *Automatic cataract grading methods based on deep learning*. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*; 182: doi:10.1016/j.cmpb.2019.07.006
- [10] Yanagihara R T, Lee C S, Ting D S W, Lee A Y. (2020). *Methodological challenges of deep learning in optical coherence tomography for retinal diseases: a review*. *Translational Vision Science & Technology*; 9(2): 11-11. doi: 10.1167/tvst.9.2.11
- [11] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, (Nov. 1998). "Gradient-based learning applied to document recognition," *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324,
- [12] He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2016). *Deep Residual Learning for Image Recognition*. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* , 770–778.
- [13] Liefers B, Venhuizen F G, Schreur V, van Ginneken B, Hoyng C et al. (2017). *Automatic detection of the foveal*

center in optical coherence tomography. *Biomedical Optics Express*; 8(11): 5160. doi:10.1364/boe.8.005160

- [14] Xu X, Zhang L, Li J, Guan Y, Zhang L. (2020). *A Hybrid Global-Local Representation CNN Model for Automatic Cataract Grading*. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*; 24(2): 556–567. doi:10.1109/JBHI.2019.2914690
- [15] Gour N, Khanna P. (2020). *Multi-class multi-label ophthalmological disease detection using transfer learning based convolutional neural network*. *Biomedical Signal Processing and Control* ; doi: doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102329
- [16] Pratap T, Kokil P. (2019). *Computer-aided diagnosis of cataract using deep transfer learning*. *Biomedical Signal Processing and Control*; 53: 1-8. doi: 10.1016/j.bspc.2019.04.010
- [17] Sengupta S, Singh A, Leopold H A, Gulati T, Lakshminarayanan, V. (2020). *Ophthalmic diagnosis using deep learning with fundus images—A critical review*. *Artificial intelligence in medicine* ; 102: doi: 10.1016/j.artmed.2019.101758



TiO₂ ve SiO₂ Nano Partiküllerinin Kamgarn Kumaşlarda Kendi Kendini Temizleme Uygulamaları

Neslihan Korkmaz^{1*}

^{1*} Yünsa Yünlü Ticaret Anonim Şirketi, Tekirdağ, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0644-617X), neslihankorkmaz08@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010853)

ATIF/REFERENCE: Korkmaz, N. (2021). TiO₂ ve SiO₂ Nano Partiküllerinin Kamgarn Kumaşlarda Kendi Kendini Temizleme Uygulamaları. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1434-1436.

Öz

TiO₂ günlük hayatta kullanılan önemli kimyasallardan biridir. Fotokatalitik aktivitenin keşfi ile kullanım alanı daha da genişlemiştir. TiO₂ son yıllarda kendi kendini temizleyen kumaş çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotoaktif özellik göstermesi ve kumaş üzerindeki organik grupları ayrıştırması için, UV ışığı ile uyarılır. Sol-jel yöntemiyle hazırlanan nano boyutlu TiO₂ (NB TiO₂), çeşitli kumaş türleri üzerinde emdirme yöntemiyle fularda denenmiş ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir. TiO₂'nin yanı sıra farklı kimyasalların kendi kendini temizleme özelliğine katkı sağlayacak çalışmalara halen rastlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda elde edilen kimyasallardan en etkili nano boyutlu SiO₂'dir (NB SiO₂). Bu çalışmada TiO₂'nin etkisini artırmak için nano boyutlu SiO₂ kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kendi Kendini Temizleme, Nano Partiküller, SiO₂, TiO₂, Yün, Kamgarn Kumaş

Self-Cleaning Application of TiO₂ and SiO₂ Nano Particles on Worsted Fabrics

Abstract

TiO₂ is one of the important chemicals used in daily life. With the discovery of photocatalytic activity, its usage area has expanded more. TiO₂ has been widely used in self-cleaning fabric studies in recent years. It was stimulated with UV light to show photoactive properties and to decompose the organic groups on the fabric. Nano-sized TiO₂ prepared by the sol-gel method has been tried on various fabric types using pad-dry-cure method and promising results have been obtained. In addition to TiO₂, studies to contribute to the self-cleaning properties of different chemicals are still encountered. The most effective chemicals obtained in studies carried out is nano-sized SiO₂. In this study, nano-sized SiO₂ was used to increase the effect of TiO₂ and compared to initial results.

Keywords: Self-cleaning, Nano Particles, SiO₂, TiO₂, Wool, Worsted fabric.

* Corresponding Author: neslihankorkmaz08@gmail.com

1. Giriş

TiO₂, günlük hayatta kullanılan önemli kimyasallardan biri olup, boya, kağıt, plastik, kozmetik ve gıda gibi ürünlerde oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir. Fotokatalitik aktivite (Fujishima ve Honda, 1972) özelliğinin keşfedilmesiyle kullanım alanı daha da genişlemiştir (Fujishima vd., 1972)

TiO₂ anataz, rutil ve brukit olmak üzere üç farklı kristal yapıya sahiptir. Genellikle anataz formundaki TiO₂ daha yüksek fotoaktivite özelliği gösterir ve yarı iletken bir malzemedir.

TiO₂, kendi kendini temizleyen kumaş çalışmalarında son yıllarda oldukça fazla kullanılmıştır (Oi vd., 2011). Bunun için, UV ışığı ile uyarılarak fotoaktif özelliği göstermesi ve kumaş üzerinde bulunan organik grupların parçalanması sağlanmıştır. Sol-gel metodu ile hazırlanan nano boyutlu TiO₂, çeşitli kumaş türlerinde denenmiş ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir. TiO₂'in yanı sıra farklı kimyasalların kendi kendini temizleme özelliğine katkı çalışmaları ile de halen sıkça karşılaşılmaktadır (Kafafy vd., 2021). Şu ana kadar yapılan çalışmalarda elde edilen kimyasallardan en etkilisi nano boyutlu SiO₂'tir (Gao, vd., 2010).

Yünsa'da daha önce TiO₂ ile yapılan denemelerde iyi sonuçlar elde edilmiştir (Palamutçu, vd., 2013). Bu sonuçları daha da iyileştirmek amacıyla devam eden çalışmalarda, sol-gel metodu kullanılarak hazırlanan ve literatürde de yer alan nano boyutlu SiO₂ kullanılmıştır. Bunun için ayrı ayrı hazırlanan TiO₂ ve SiO₂ çözeltileri belirli oranlarda karıştırılarak yünlü kumaşlara uygulanmıştır. Ardından çay ve kahve lekeleri uygulanan bu kumaşlar UV ışığına maruz bırakılmış ve lekelerdeki değişimleri karşılaştırma çalışmaları yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

TiO₂ ve SiO₂ çözeltileri ayrı ayrı hazırlanmış ve 30/70; 50/50; 70/30 gibi değişik yüzde oranlarında karışımlar yapılmıştır (Nitayaphat, vd., 2018). Hazırlanan TiO₂ ve SiO₂ çözeltileri ve bunlardan elde edilen karışımlar ile harmanı yün/poliester ve yün/poliester/elastan olan ekrü ve renkli kumaşlar üzerinde 5'er deneme gerçekleştirilmiştir.

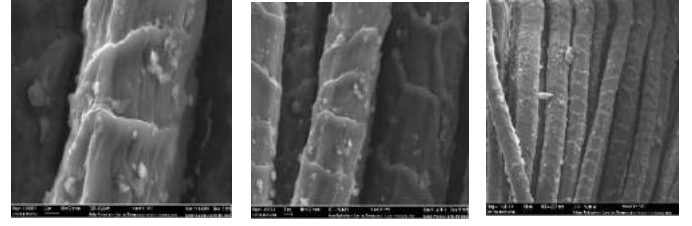
Asetik Asit (Glacial), Nitrik Asit (%65), Etil alkol (%96) ve Hidroklorik asit (%37) Merck'ten satın alınmıştır. Titanyum (IV) İzopropoksit (%97) (TTIP) ve Tetraetil ortosilikat, (%97) (TEOS) Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir.

Kumaşlar, yün/poliester/elastan Nm 58/2 çözgü ve 52/1 atkı iplik ile ekrü olarak; yün/poliester Nm 44/4 çözgü ve atkı aynı iplik ile renkli (koyu gri) olarak Yünsa'da üretilmiştir.

2.1. TiO₂ Çözeltisinin Hazırlanması

5 L TTIP, 1 L asetik asit ve 700 ml nitrik asit karıştırılarak 100 L'ye tamamlanmıştır. Çözelti 80 °C'de 2 saat hızlı bir şekilde karıştırılmıştır, pH 1,8.

Yünsa bünyesinde daha önce gerçekleştirilen çalışmada (Palamutçu, vd., 2013) elyaf üzerine uygulanan TiO₂ nano partiküllerinin SEM görüntüsü Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. TiO₂ nano partiküllerinin yün elyafı üzerindeki görüntüsü (x 10000 büyütme).

2.2. SiO₂ Çözeltisinin Hazırlanması

4 L TEOS, 600 ml hidroklorik asit ve 1,6 L etil alkol karıştırılarak 100 L'ye tamamlanmıştır. Çözelti 60-70 °C'de 2 saat hızlı bir şekilde karıştırılmıştır, pH 3.

2.3. Karışımların Hazırlanması

70:30, 50:50 ve 30:70 olacak şekilde hazırlanan TiO₂ ve SiO₂ çözeltileri kullanılarak hacmen % karışımlar hazırlanmıştır.

2.4. Uygulama

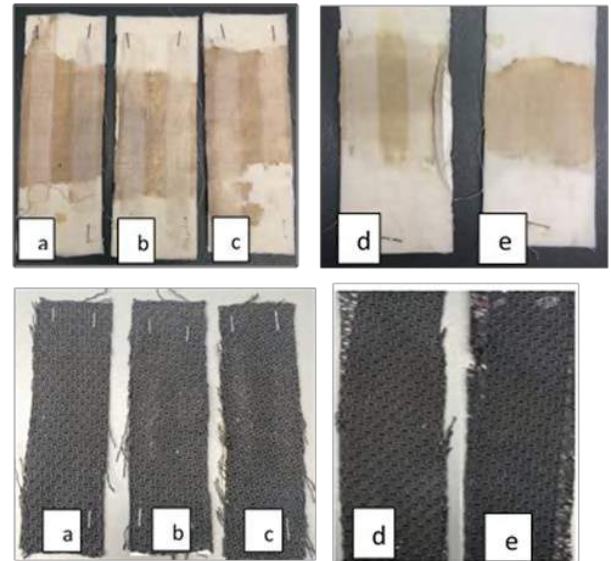
Hazırlanan nano boyutlu TiO₂ ve SiO₂ çözeltileri ve bunlardan elde edilen karışımlar ile harmanı yün / poliester / elastan olan ekrü ve yün / poliester olan koyu gri renkli kumaşlar üzerinde 5 farklı deneme gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk önce %100 TiO₂ çözeltisinin uygulaması yapılmıştır. Hem ekrü hem de renkli kumaşlar, fırardan reaksiyon sıcaklığında, 27 m/dk hız ile geçirilmiş, 178 °C'de kurutulmuş ve 190 °C fikse edilmiştir. Bu uygulama 30/70 SiO₂/TiO₂; 50/50 SiO₂/TiO₂; 70/30 SiO₂/TiO₂ ve % 100 SiO₂ olacak şekilde tüm karışımlar için tekrarlanmıştır.

3. Sonuç

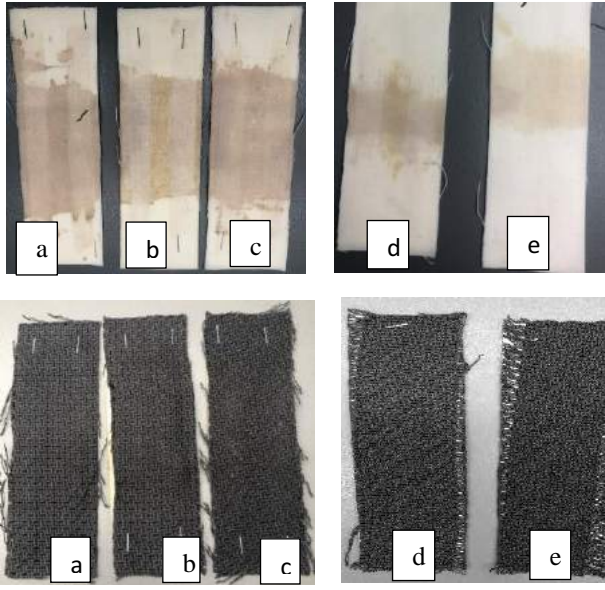
3.1. Işık Haslıği

Kumaşlar 5x8 cm boyutlarında kesilerek üzerlerine yarıısına olacak şekilde demleme çay ve 1 g/100 ml olarak hazırlanan kahve ile uygulama yapılmıştır. Q-Sun B 02 ışık haslıği cihazında smüle güneş ışığı altında, sıcaklık 45-50 °C ve %55 nemde her iki saatte bir toplamda 24 saat olacak şekilde leke azalması takibi yapılmıştır. (Şekil 2).

Kahve



Çay,



Şekil 2. Simüle güneş ışığı altında bekletilen ekru ve renkli kumaşlarda leke gideriminin gözlenmesi. a: 30/70 SiO₂/TiO₂. b: 50/50 SiO₂/TiO₂. c: 70/30 SiO₂/TiO₂ d: %100 TiO₂, e: %100 SiO₂

3.2. Temas Açısı

Uygulama yapılan kumaşlarda, hidrofobik özelliğin belirlenmesi amacıyla temas açısı ölçümleri yapılmıştır (Tablo 1). Genel olarak, çözeltide bulunan TiO₂ uygulanan kumaşlardaki temas açısının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. SiO₂ uygulananlarda ise açının daha düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Ekru ve renkli kumaşlara ait temas açıları tablosu

	Kumaş	Sol Açısı	Sağ Açısı
EKRU	Kaplanmamış Kumaş	132 °	131,8 °
	%100 NB TiO ₂ ile Kaplanmış Kumaş	124,9 °	123,9 °
	%50 NB TiO ₂ /%50 NB SiO ₂ ile Kaplanmış Kumaş	124,2°	124,3°
	%100 NB SiO ₂ ile Kaplanmış Kumaş	118,3 °	117,5 °
RENKLİ	Kaplanmamış Kumaş	Gözlenmedi	Gözlenmedi
	%100 NB TiO ₂ ile Kaplanmış Kumaş	122,6°	122,6°
	%50 NB TiO ₂ /%50 NB SiO ₂ ile Kaplanmış Kumaş	108,7 °	108,7 °
	%100 NB SiO ₂ ile Kaplanmış Kumaş	124,5 °	124,9°

4. Tartışma

Sol-gel metodu ile elde edilen nano boyutlu SiO₂ ve TiO₂ çözeltileri farklı oranlarda karıştırılarak ecru ve renkli kumaşlara uygulanmış ve SiO₂'in çözeltide etkinliği artırma kapasitesi incelenmiştir. Ancak, karışımdaki SiO₂ oranının TiO₂'in etkisini arttırdığına yönelik herhangi bir bulgu elde edilememiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Yünsa Yünlü San. Tic. AŞ'ye teşekkürler. Daha önceki çalışmalarıyla bize öncülük eden Sema Palamutçu ve Onur Akman'a da teşekkürler.

Kaynakça

- Fujishima, A., ve Honda, K., 1972, Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode, Nature, 238, 37-38.
- Qi, K. Wang X. and Xin J. H., 2011. Photocatalytic self-cleaning textiles based on nanocrystalline titanium dioxide, Textile Research Journal, 81(1) 101–110.
- Kafafy, H., Shahin, A., Mashaly, H., Helmy, H., and Zaher, A., 2021. Treatment of Cotton and Wool Fabrics with Different Nanoparticles for Multifunctional Properties, Egyptian J. Chem. Gao H. and Yang J., 2010, Nanoscale Silicon Dioxide Prepared by Sol-Gel Process, Modern Applied Science, Vol. 4, No. 9.
- Palamutçu, S., Akman, O., Gülmez, Ş., İberia, A., ve Selçuk, H., Functionalisation of wool blend fabrics using TiO₂, NanotechItaly 2013, 27-28 Kasım 2013, Viyana, İtalya (Poster Sunum).
- Nitayaphat, W. Jirawongcharoen, P. And Trijaturon, T., 2018, Self-Cleaning Properties of Silk Fabrics Functionalized with Tio2/Sio2 Composites, Journal of Natural Fibers, vol:15, 2, 262-272.



Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions with Fly Ash Based Geopolymer Foam

Evren Ariöz ^{1*}, Gözde Bahar Büke ²

^{1*} Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-4862-5467), evrenbayram@eskisehir.edu.tr

² Eskisehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Eskisehir, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3705-4814), gozde_bahar_turker@hotmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1016237)

ATIF/REFERENCE: Büke, G.B. & Ariöz, E. (2021). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions with Fly Ash Based Geopolymer Foam. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1437-1441.

Abstract

Geopolymers are ceramic like materials synthesized by alkali activation of aluminosilicate powder at relatively low temperatures. Geopolymers have excellent properties such as high mechanical strength, high acid resistance, and high fire resistance. Depending on the properties of geopolymers, they have many application fields like adsorption, waste encapsulation, and construction industry. Adsorption is one of the remarkable application areas of geopolymers. Due to the increasing demand for clean water resources, the need for developments in water treatment is also increasing. Geopolymers offer cost effective and environmentally friendly alternatives to adsorbent materials. Many waste materials including fly ash and blast furnace slag can be used to synthesize geopolymeric materials. In this experimental study fly ash was used as raw material and geopolymer foam was produced by using 4 M sodium hydroxide and sodium silicate. Hydrogen peroxide was utilized to obtain foamed material. Fresh geopolymer paste cured at 80°C for 4 hours and then aged at laboratory conditions. Samples aged for 28 days were used in methylene blue removal from an aqueous solution. Adsorption experiments were carried out at laboratory conditions under normal light and under UV lamp in the presence of TiO₂. The concentration of the solution obtained at the end of the adsorption contact time was determined by UV/VIS spectrophotometer at 665 nm. The effect of adsorbent ratio and temperature on removal efficiency and adsorption capacity were investigated. The highest removal efficiency values were obtained as 92% and 83% under UV lamp and normal light, respectively. The results indicated that geopolymers are very promising materials that can be used in methylene blue removal.

Keywords: Geopolymer, Adsorption, Methylene blue.

Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Köpük ile Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisini Giderimi

Öz

Geopolimerler, alüminosilikat içeren toz halindeki malzemenin alkali aktivasyonu ile nispeten düşük sıcaklıklarda sentezlenen seramik benzeri malzemelerdir. Geopolimerler, yüksek mekanik mukavemet, yüksek asit direnci, yüksek yangın direnci gibi mükemmel özelliklere sahiptirler. Geopolimerler, özelliklerine bağlı olarak adsorpsiyon, atık kapsülleme ve inşaat sektörü gibi birçok uygulama alanına sahiptirler. Adsorpsiyon, geopolimerlerin dikkat çekici uygulamalarından birisidir. Temiz su kaynaklarına olan talebin artması nedeniyle su arıtımındaki gelişmelere duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Geopolimerler, uygun maliyetli ve çevre dostu olmalarıyla adsorban olarak kullanılan malzemelere alternatifler sunmaktadırlar. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu dahil olmak üzere birçok atık malzeme, geopolimerik malzemelerin sentezinde kullanılabilirler. Bu deneysel çalışmada, hammadde kaynağı olarak uçucu kül kullanılmıştır. 4 M sodyum hidroksit, sodyum silikat ile karıştırılmış ve uçucu küle eklenmiştir. Geopolimer köpük eldesi amacı ile karışıma hidrojen peroksit ilave edilmiştir. Geopolimer karışımı 80°C'de 4 saat kür edilmiştir ve laboratuvar koşullarında yaşlandırılmıştır. Sulu çözeltiden metilen mavisini gideriminde 28 günlük numuneler kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri, laboratuvar koşullarında normal ışık altında ve UV lambası altında TiO₂ varlığında gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon süresinin sonunda elde edilen çözeltinin konsantrasyonu, 665 nm dalga boyunda UV/VIS spektrofotometre ile belirlenmiştir. Adsorban oranı ve sıcaklığın, giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. En yüksek giderim verimi UV lambası altında %92, normal ışık altında ise %83 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar, geopolimerlerin metilen mavisini gideriminde kullanılabilecek çok umut verici malzemeler olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Geopolimer, Adsorpsiyon, Metilen mavisini.

* Corresponding Author: evrenbayram@eskisehir.edu.tr

1. Introduction

The increase in population and industrialization have caused the pollution of clean water resources. Many pollutants such as dyes, heavy metals, surfactants cause pollution of water resources. The contamination of surface and ground water is harmful to both ecosystem and humans [1,2]. Dyes are widely used contaminants in many industries.

Dyes are widely used in the textile, leather, printing, paper, food, cosmetics, gasoline, pharmaceutical, automotive, and other coloring industries [3, 4]. More than 100,000 different types of dye are produced annually, about 700,000 tons. Many techniques such as adsorption, photodegradation, and membrane separation are used in wastewater treatment [3, 5]. Adsorption is the most widely used technique due to its simple design, ease of use and cost-effectiveness [4]. Photodegradation is the degradation of organic pollutants under UV light [6]. TiO_2 is often used as a photocatalyst because of its chemical stability and non-toxicity [7].

Various adsorbent materials including activated carbon, clay, zeolites, fly ash and geopolymers are used to remove pollutants from wastewater [1, 3]. In recent years, researchers have focused on the production of cost-effective and environmentally friendly adsorbent materials [8].

Geopolymers are low-cost, environmentally friendly materials with superior properties and thermal stability [9, 10]. Geopolymers can be used in many fields such as adhesives, coatings and hydroceramics [11].

Geopolymerization begins with the dissolution of the species exist in the raw material. The dissolved species form a gel phase and condense to form a three dimensional network [12, 13] with the empirical formula: $\text{M}_n[-(\text{SiO}_2)_z-\text{AlO}_2]_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$, where z is 1, 2 or 3; M is an alkali cation such as potassium or sodium and n is the degree of polymerization [14, 15].

Geopolymers, also called inorganic polymers, can be synthesized by both natural raw materials and waste materials [16, 13]. Geopolymers exhibit superior properties and characteristics such as high compressive strength, low shrinkage, resistance to acids, and low thermal conductivity [11]. Waste materials rich in silicon and alumina can be used for geopolymerization. Different raw materials result in geopolymers with different properties, structures and fields of application [17].

Fly ash is a by-product of coal combustion thermal power plant. Fly ash consists of fine particles and is rich in silicon and aluminum. The content of fly ash makes it a suitable raw material for geopolymerization [18]. Worldwide, 780 million tonnes of fly ash is produced annually, but about 17–20% of it is utilized [19].

In this study, fly ash based geopolymer foam was used for methylene blue removal from aqueous solutions. Methylene blue is a cationic dye used primarily used in the textile industry, leather dyeing and furniture coloring [4, 20, 21]. Methylene blue should be removed from wastewater because it is biohazardous and carcinogenic for some marine species [22].

2. Material and Method

2.1. Synthesis of Geopolymer

Class F fly ash was used in the production of geopolymer foam. 4 M sodium hydroxide was added to sodium silicate to obtain the activator solution. The activator solution was poured onto the fly ash and stirred for 5 minutes. Hydrogen peroxide was added to the geopolymer slurry. After mixing, geopolymer foam paste was cast into 4x4x16 mm moulds. The pastes were cured in a laboratory oven at 80°C for 4 hours.

The cured samples removed from the oven were aged for 7 and 28 days under atmospheric conditions. Compressive strength tests were carried out on samples aged for 7 and 28 days. Samples cured for 28 days were crushed and used as an adsorbent for methylene blue removal.

Samples cured for 28 days were crushed and used as adsorbent for methylene blue removal.

2.2. Adsorption Experiments

Adsorption experiments were carried out in two groups, under normal conditions and under UV lamp in the presence of TiO_2 . A methylene blue solution was prepared at a concentration of 200 mg/L concentration. The amount of geopolymer foam sample ground as adsorbent varied between 0.1 g and 1 g. The effects of temperature (30°C and 40°C) and contact time (1h, 2h and 3h) on the removal efficiency and adsorption capacity were investigated. Photocatalytic degradation experiments of methylene blue were carried out under a UV TiO_2 -catalyzed UV lamp. TiO_2 amount remained constant as 0.5 g in all experiments. At the end of the adsorption experiments, the mixtures were centrifuged and the concentrations of the solutions at the given contact times were determined by UV/VIS spectroscopy at a wavelength of 665 nm. The removal efficiency and adsorption capacity were calculated using the equations given below:

$$\text{Removal Efficiency (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

$$\text{Adsorption Capacity} = q_t = \frac{(C_0 - C_t) V}{m}$$

where C_0 is the initial concentration, C_t is the concentration at given time t , V is the volume of the solution and m is the adsorbent amount.

3. Results and Discussion

3.1. Characteristics of Geopolymer Sample

The compressive strength of the 7-day and 28-day aged samples were measured as 3.1 MPa and 4 MPa, respectively. The FTIR spectrum of the 28-day aged geopolymer sample is given in Figure 1.

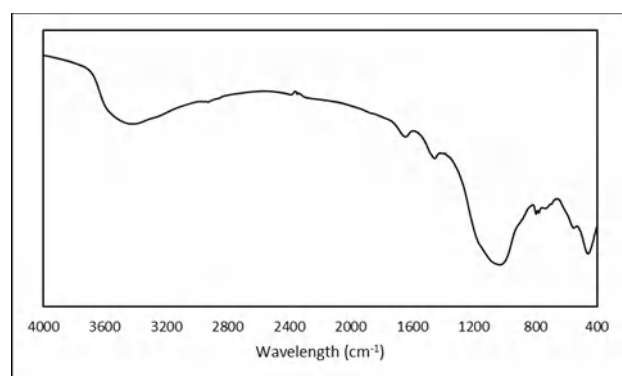


Fig. 1 FTIR spectrum of sample cured for 28 days

The main peak which is the fingerprint of geopolymers observed at about 1000 cm^{-1} , is assigned to the Si–O–Si stretching vibration [23]. Si–O–Si and Si–O–Al (bending mode) vibrations were observed at 470 cm^{-1} [24]. The band seen at 1450 cm^{-1} is attributed to stretching vibrations of C=O confirming the presence of carbonate groups [25]. The broad band seen at 3400 cm^{-1} is associated with –OH stretching, and the band at 1655 cm^{-1} corresponds to H – O – H bending [15].

3.2. Adsorption Experiments

The adsorption experiments were carried out at normal conditions and UV light at 30°C and 40°C with varying adsorbent amount. The removal efficiency percentages obtained at 30°C under normal conditions are given in Figure 2.

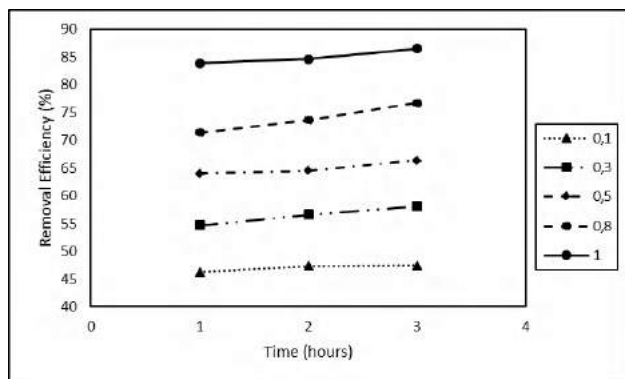


Fig. 2 Removal efficiency values obtained at 30°C

With the increasing amount of geopolymer foam, the removal efficiency percentages increased significantly. The highest removal percentage was obtained as 86.5% in 3 hours contact time when 1 gr adsorbent was used. Contact time did not significantly affect methylene blue removal. The adsorption capacity (q_t) under the same conditions is given in Figure 3.

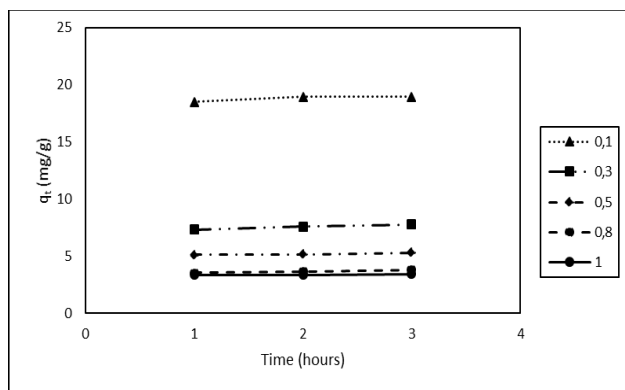


Fig. 3 Adsorption capacity values obtained at 30°C

Adsorption capacity values decreased with increasing amount of adsorbent due to the formula, but the decrease was

very sharp when the amount of adsorbent increased from 0.1 g to 0.3 g. The capacities were approximately the same when the amounts of geopolymer foam were 0.8 g and 1 g. The removal efficiencies achieved at 40°C are given in Figure 4.

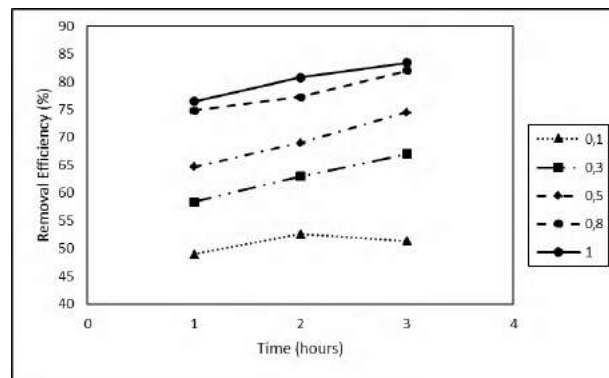


Fig. 4 Removal efficiency values obtained at 40°C

As expected, efficiencies increased with increasing adsorbent amount. The highest removal efficiency was found as 83.5%. It was observed that the removal efficiency increased slightly with increasing temperature. The adsorption capacity (q_t) values at 40°C are given in Figure 5.

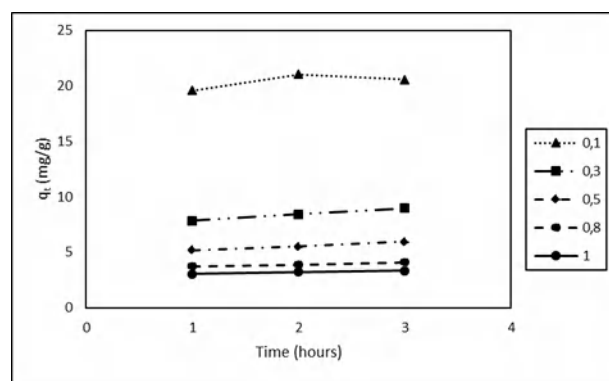


Fig. 5 Adsorption capacity values obtained at 40°C

The change in the amount of adsorbent with the adsorption capacity is the same as at 30°C . The capacities decreased with the increasing amount of adsorbent. Values were almost identical to capacities at 30°C .

Photocatalytic degradation experiments were carried out under UV lamp with a fixed amount of TiO_2 as catalyst. The removal efficiency obtained with 0.5 g TiO_2 at 40°C under UV light are given in Figure 6.

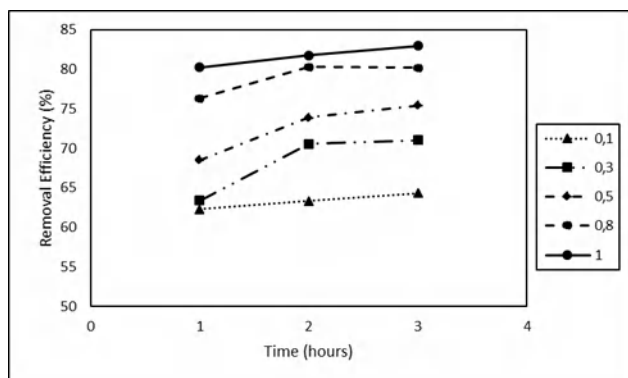


Fig. 6 Removal efficiency values obtained at 30°C under UV light

As the amount of geopolymer foam increased, the removal efficiency values also increased. Compared to the values found in the adsorption experiments performed under normal conditions, the removal values increased under UV light. The increase was low for the removal values obtained for 1 g under normal conditions. Adsorption capacities at 30°C under UV light are given in Figure 7.

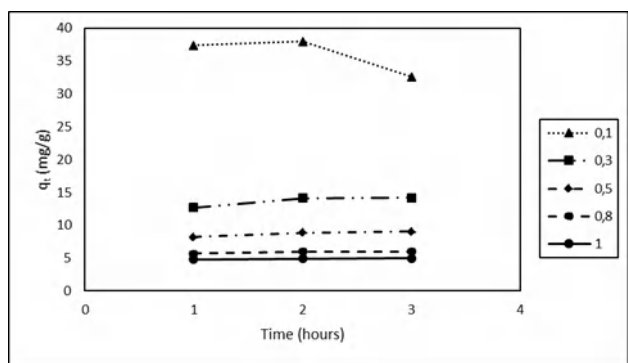


Fig. 7 Adsorption capacity values obtained at 30°C under UV light

As can be seen from the figure, the change in adsorption capacities was the same as found at 30°C, except for the increase in time when increased to 3 h for 0.1 g adsorbent. The values have increased approximately two times over the values found under normal conditions. Removal efficiencies at 40°C under UV light are given in Figure 8.

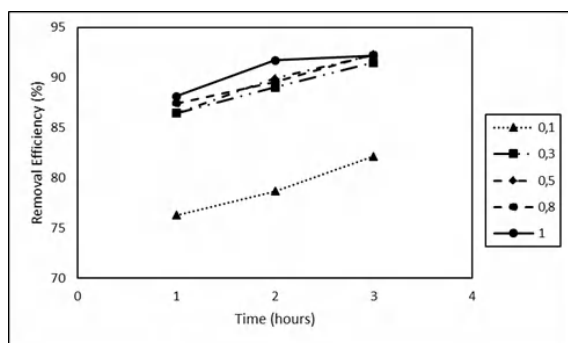


Fig. 8 Removal efficiency values obtained at 40°C under UV light

It is seen from the figure that the efficiency values are close to each other for adsorbent amounts between 0.3 g and 1 g. The

removal efficiency values varied between the lowest 76% and the highest 92% in 0.1 gr adsorbent for 1 hour and at 1 gr adsorbent for 3 hours, respectively. Adsorption capacities at 40°C under UV light are given in Figure 9.

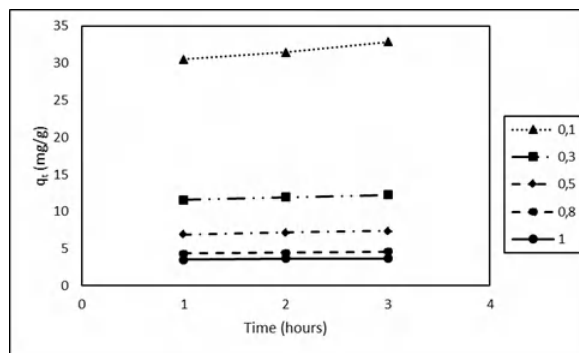


Fig. 9 Adsorption capacity values obtained at 40°C under UV light

Adsorption capacity values obtained under UV light were found to be approximately 2 times higher than those obtained under normal conditions. The highest adsorption capacity was found to be 32.9 mg/g for 0.1 g adsorbent for 3 hours.

Photodegradation under UV light with TiO₂ catalyst and increase in temperature positively affected the removal efficiency and adsorbent capacity. Removal efficiencies increased significantly with temperature under UV light.

4. Conclusions and Recommendations

The results obtained from the experimental study showed that the geopolymer foam was successfully synthesized by fly ash under the specified conditions. Fingerprinting of geopolymers observed in the FT-IR spectrum. The dye removal efficiency and the adsorption capacity values obtained in this experimental study were found to be quite high when compared with the literature [26, 21]. The results were promising, as the removal efficiency and adsorption capacity values were obtained at high values with high initial dye concentration.

The results revealed that the geopolymer foam synthesized in this study can be used for methylene blue removal. Geopolymer foams offer sustainable and environmentally friendly solutions for both the utilization of fly ash and wastewater treatment. Geopolymers can be synthesized under different conditions such as curing temperature and duration, sodium hydroxide ratio and can be studied for the removal of different types of dyes in further studies.

5. Acknowledge

This experimental study was supported by the Eskisehir Technical University research project No: 20ADP197.

References

[1] A. A. Siyal, M. R. Shamsuddin, M. I. Khan, N. E. Rabat, M. Zulfiqar, Z. Man, J. Siame and K. A. Azizli, 'A review on geopolymers as emerging materials for the adsorption of heavy metals and dyes', *Journal of Environmental Management*, vol. 224, pp. 327-339, 2018.

- [2] M. E. Alouani, H. Saufi, G. Moutaoukil, S. Alehyen, B. Nematollahi, W. Belmaghraoui and T. Taibi, 'Application of geopolymers for treatment of water contaminated with organic and inorganic pollutants: State-of-the-art review', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, 105095, 2021.
- [3] K. Kaya-Özkipser, A. Uzun and S. Soyer-Uzun, 'A novel alkali activated magnesium silicate as an effective and mechanically strong adsorbent for methylene blue removal', *Journal of Hazardous Materials*, vol. 424, 127256, 2022.
- [4] J. Ramírez-Aparicio, J. E. Samaniego-Benítez, M. A. Murillo-Tovar, J. L. Benítez-Benítez, E. Muñoz-Sandoval and M. L. García-Betancourt, 'Removal and surface photocatalytic degradation of methylene blue on carbon nanostructures', *Diamond & Related Materials*, vol. 119, 108544, 2021.
- [5] O. Moradi and G. Sharma, 'Emerging novel polymeric adsorbents for removing dyes from wastewater: A comprehensive review and comparison with other adsorbents', *Environmental Research*, vol. 201, 111534, 2021.
- [6] H. Saufi, M. E. Alouani, S. Alehyen, M. E. Achouri, J. Aride and M. Taibi, 'Photocatalytic degradation of methylene blue from aqueous medium onto perlite-based geopolymer', *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2020, Article ID 9498349, 2020.
- [7] S. Liu, C. Zuo and J. Xia, 'Solid-state synthesis and photodegradation property of anatase TiO₂ micro-nanopowder by sodium replacement', *Solid State Sciences*, vol. 115, 106589, 2021.
- [8] Y. O. Khaniabadi, R. Heydari, H. Nourmoradi, H. Basiri and H. Basiri, 'Low-cost sorbent for the removal of aniline and methyl orange from liquid-phase: Aloe Vera leaves wastes', *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 68, pp. 90-98, 2016.
- [9] Y. Zhang and L. Liu, 'Fly ash-based geopolymer as a novel photocatalyst for degradation of dye from wastewater', *Particuology*, vol. 11, pp. 353-358, 2013.
- [10] L. Chen, K. Zheng and Y. Liu, 'Geopolymer-supported photocatalytic TiO₂ film: Preparation and characterization', *Construction and Building Materials*, vol. 151, pp. 63-70, 2017.
- [11] P. Duxon, A. Fernandez-Jimenez, J.L. Provis, G.C. Lukey, A. Palomo and van Deventer J.S.J., 'Geopolymer technology: The current state of the art', *Journal of Materials Science*, vol. 42, pp. 2917-293, 2007
- [12] E.I. Diaz, E.N. Allouche and S. Eklund, 'Factors affecting the suitability of fly ash as source material for geopolymers', *Fuel*, vol. 89, pp. 992-996, 2010.
- [13] B. Singh, G. Ishwarya, M. Gupta and S.K. Bhattacharyya, 'Geopolymer concrete: A review of some recent developments', *Construction and Building Materials*, vol. 85, pp. 78-90, 2015.
- [14] T. Bakharev, 'Geopolymeric materials prepared using Class F fly ash and elevated temperature curing', *Cement and Concrete Research*, vol. 35, pp. 1224-1232, 2005.
- [15] E. Alvarez-Ayuso, X. Querol, F. Plana, A. Alastuey, N. Moreno, M. Izquierdo, O. Font, T. Moreno, S. Diez, E. Vazquez and M. Barra, 'Environmental, physical and structural characterisation of geopolymer matrixes synthesised from coal (co-) combustion fly ashes', *Journal of Hazardous Materials*, vol. 154, pp. 175-183, 2008.
- [16] P. Cong and Y. Cheng, 'Advances in geopolymer materials: A comprehensive review', *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 8(3), pp. 283-314, 2021.
- [17] B. Ren, Y. Zhao, H. Bai, S. Kang, T. Zhang and S. Song, 'Eco-friendly geopolymer prepared from solid wastes: A critical review', *Chemosphere*, vol. 267, 128900, 2021.
- [18] Y. H. M. Amran, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, M. El-Zeadani, 'Clean production and properties of geopolymer concrete; A review', *Journal of Cleaner Production*, vol. 251, 119679, 2020.
- [19] S. K. John, Y. Nadir and K. Girija, 'Effect of source materials, additives on the mechanical properties and durability of fly ash and fly ash-slag geopolymer mortar: A review', *Construction and Building Materials*, vol. 280, 122443, 2021.
- [20] P. Rožek, M. Król and W. Mozgawa, 'Lightweight geopolymer-expanded glass composites for removal of methylene blue from aqueous solutions', *Ceramics International*, vol. 46, pp. 19785-19791, 2020.
- [21] D. Wattanasiriwech, K. Yomthong and S. Wattanasiriwech, 'Adsorption efficiency and photocatalytic activity of fly ash-based geopolymer foam mortar', *Ceramics International*, vol. 47, pp. 27361-27371, 2021.
- [22] T. de O. Guidolin, N. M. Possolli, M. B. Polla, T. B. Wermuth, T. F. de Oliveira, S. Eller, O. R. K. Montedo, S. Arcaro and M. A. P. Cechinel, 'Photocatalytic pathway on the degradation of methylene blue from aqueous solutions using magnetite nanoparticles', *Journal of Cleaner Production*, vol. 318, 128556, 2021.
- [23] G. S. Ryu, Y. B. Lee, K. T. Koh and Y. S. Chung, 'The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators', *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 409-418, 2013.
- [24] H. Oudadesse, A. C. Derrien and M. Lefloch, 'Infrared and nuclear magnetic resonance structural studies vs. thermal treatment of geopolymers/biphasic calcium phosphates', *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 82, pp. 323-329, 2005.
- [25] S. K. Nath, S. Maitra, S. Mukherjee and S. Kumar, 'Microstructural and morphological evolution of fly ash based geopolymers', *Construction and Building Materials*, vol. 111, pp. 758-765, 2016.
- [26] A. Maleki, M. Mohammad, Z. Emdadi, N. Asim, M. Azizi, J. Safaei, 'Adsorbent materials based on a geopolymer paste for dye removal from aqueous solutions', *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 13, pp. 3017-3025, 2020.



Cancer Detection with an Image Processing Application

Gizem Boyraz¹, Fatma Öztürk², Pınar Kırıcı^{3*}

^{1,2} Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İstanbul, Turkey

^{3*} Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Bursa, Turkey, pinarkirci@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1013525)

ATIF/REFERENCE: Boyraz, G., Öztürk, F., & Kırıcı, P. (2021). Cancer Detection with an Image Processing Application. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1442-1446.

Abstract

In this study, image processing algorithms and their performances are examined. In the first part of the study, image processing, color space, functions and frameworks that can be used in C# are studied. As a result of obtaining the necessary information, an algorithm has been written that turns existing images into gray. Then, Median filtering was applied to the image in order to increase the quality of the image. Threshold algorithm was used to clarify the region after filtering. Finally, Sobel edge detection algorithm was used for image processing. Machine learning was used to decide whether the tumor region detected after image processing is cancerous or not. A dataset and NaiveBayes Class are used for machine learning. In summary, the project determines the tumor area with image processing and tells whether the tumor is cancerous with machine learning.

Keywords: Sobel edge detection algorithm, Image processing, Median filtering, Cancer detection

Görüntü İşleme Uygulaması ile Kanser Tespiti

Öz

Bu çalışmada görüntü işleme algoritmaları ve performansları incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde görüntü işleme, renk uzayı, C#da kullanılabilir fonksiyonlar ve çerçeveler incelenmiştir. Gerekli bilgilerin elde edilmesi sonucunda mevcut görüntüleri griye çeviren bir algoritma yazılmıştır. Daha sonra görüntünün kalitesini artırmak için görüntüye Medyan filtreleme uygulandı. Filtrelemeden sonra bölgeyi netleştirmek için eşik algoritması kullanıldı. Son olarak, görüntü işleme için Sobel kenar algılama algoritması kullanılmıştır. Görüntü işlemeden sonra tespit edilen tümör bölgesinin kanserli olup olmadığına karar vermek için makine öğrenmesi kullanıldı. Makine öğrenimi için bir veri kümesi ve NaiveBayes Sınıfı kullanıldı. Özetle proje, görüntü işleme ile tümör alanını belirler ve makine öğrenmesi ile tümörün kanserli olup olmadığını söyler.

Anahtar Kelimeler: Sobel kenar algılama algoritması, Görüntü işleme, Medyan filtreleme, Kanser algılama

1. Introduction

Along with the developing technology, image processing is used in many fields as well as in medical applications today. With image processing, obtaining information from the image is important in the diagnosis and early diagnosis of diseases. With the increasing incidence of cancer in the world, early diagnosis has become even more important. In this field, image processing enables early diagnosis of diseases by revealing the numerical information in the image that the human eye cannot perceive. In this study, it was aimed to help doctors diagnose cancer with the help of computers.

Image Processing is a method developed to transfer the incoming image to the computer platform and perform some operations, and used to extract some useful information from the obtained image. Today, image processing methods applied by companies in various ways are among the rapidly growing technologies. Image Processing is also the main research area in engineering and computer science departments.

Computer Vision, Optical Sorting, Augmented Reality, Feature Detection, Face Recognition, Lane Departure Warning System, Microscope Image Processing, Morphological Image Processing, Medical Image Processing, Remote Sensing, Non-photorealistic Rendering are image processing applications. Cancer is one of the most common diseases nowadays. Cancer, which catches 14 million people every year and causes 8.2 million deaths in the world; It affects all people regardless of age, gender, language, religion or race. If the similar course of cancer continues, 22 million new cases are expected to emerge in 2030. Estimates have shown that a significant portion of cancer cases that will develop in the coming years will occur in underdeveloped countries [1,13,14,15].

2. Material and Method

2.1. What is Cancer?

All organs in our body are made up of cells. Healthy body cells (except muscle and nerve cells) have the ability to divide. They use these abilities for regeneration of dead cells and repair of injured tissues (inside and outside the body). But these abilities are also limited. they cannot be divided an infinite number. Throughout its life, every cell has a certain number of divisibility. A healthy the cell knows where and how much to divide. On the other hand, cancer cells lose this consciousness, begin to divide uncontrollably and they multiply. Cancer cells accumulate to form tumors (masses). Tumors can compress, infiltrate or destroy normal tissues. If cancer cells separate from the tumor in which they formed, they are transferred to other parts of the body through the blood or lymph. They form tumor colonies where they go and continue to grow. The spread of cancer to other parts of the body in this way is called metastasis.

Benign tumors are not cancer. They do not spread to neighboring areas. Borders is evident. They do not dissolve neighboring tissues. These cells are differentiated into oncogenes (mutation) but it is still possible to predict their origin. They usually do not recur when completely removed.

Malignant tumors are called cancer. They spread to neighboring organs and tissues, and when they encounter bone tissue, they even dissolve it (resorption). Its boundaries are unclear. The cells that make up the malignant tumor are so

differentiated that it is impossible to tell what their origin is. They also spread to distant organs via lymph and blood. Cancers are classified according to the organ in which they begin to form and their appearance under the microscope [6].

2.2. What is Breast Cancer?

Breast cancer means the uncontrolled proliferation of cells that make up the breast tissue. In the nucleus of all cells in the body, there are genes that control the normal growth and health of cells. These genes perform the task of controlling the normal reproduction of cells. These genes can be damaged by various factors such as radiation, environmental factors, microorganisms, etc. If this proliferation does not occur in a certain order, tissue excess occurs, this tissue excess is called tumor. If the cells in this tissue tend to spread and go elsewhere, it is cancer. If they continue to stay where they are, they are called benign tumors [8].

2.3. Symptoms of Breast Cancer

Breast Mass: The most common finding among breast cancer symptoms is palpation of a mass in the breast. Most of these masses are benign tumors. A palpable mass in the breast can be one of 2 different structures. The mass may be a fluid-filled sac. We call this a cyst. Simple cysts are not among the symptoms of breast cancer. Masses that may be a sign of breast cancer are formations filled with a different tissue; We call them solid masses. The best way to distinguish these two different structures is to examine the mass with ultrasound.

Cyst in the breast: Cysts are usually benign tumors of the breast. They range in size from a few millimeters to a few centimeters. It is rare in women under 25 years of age, more common in women approaching menopause.

Solid Masses: Masses that do not contain fluid in the breast and are filled with different cells are called solid masses. Solid masses are more likely to be cancer than cysts. A solid mass detected in the breast of a young woman is not likely to be cancer: The risk of cancer increases with age. The mass detected in the breast is evaluated with mammography and ultrasound, and the possibility of cancer is investigated. It is not possible to make a definitive diagnosis with these methods. However, a definitive diagnosis can be made by examining the part taken from the mass in pathology.

A Palpable Mass Under The Armpit: A palpable mass in the armpit may be a lymph node enlargement due to many reasons; but sometimes it can be the first sign of breast cancer. Therefore, if you have not recently had an infection in your hand or arm, this mass needs to be examined [9].

2.4. Image Processing-Graying the Image

Each pixel value in the image gives the contrast values of that image. All pixel values take a value between 0 and 255. A value of 0 indicates black and a value of 255 indicates white. There are several ways to code in C#. This project was made using Bitmap. The R, B, G values of all pixels of the image are taken and multiplied by the values required to create a gray image. A gray image can also be obtained by adding the R, B, G values obtained in another way and dividing by 3. Turning the image to gray can also be done using the framework. The Apply(Bitmap) method is called using the class Grayscale. This method applies a gray filter to the image .

2.5. Image Thresholding

This function is usually used to create a binary image from a grayscale image. It can also be used with color images. Filters the pixel values of the source image to values that are too large or too small. Mostly used to remove noise in images. There are several threshold types available: Binary, Binary Inverted, To Zero, To Zero Inverted, Truncate [7].

2.6. Image Filtering

Image filtering is often used to remove unwanted signals, called noise, in the image. With filtering, operations such as sharpening the image, revealing certain details, softening the image, sharpening the edge or finding edges are carried out. Filters are usually 3×3 matrices. But its dimensions can be 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 [2]. Median filtering was used in the project. In this filtering method, the original sorted pixel is replaced by the median value between its neighbors. This differs from weighted average filters: In weighted average filters, the weighted average of the neighbors is taken, this calculated value is re-centered with the original pixel and the result is found. In the median filter, the neighborhood values are ordered first and then the middle value is taken. This value is considered a direct result [5].

2.7. Edge Finding

Edges in gray-level images can be defined as regions of discontinuities in brightness or as the boundary between two regions where the degrees of brightness differ significantly from each other. This change within the image is obtained using the gradient. Edges can be extracted from these monochrome images using gradient-based algorithms. Another alternative is to linearly combine the edges for each color component for each pixel [3].

C# code has been written for sobel edge detection algorithm, which is one of the edge detection methods. Image is grayed out first so that sobel edge detection algorithm can be used. In two 3×3 matrices, the image is displayed in a pixel matrix. The logic we use here is to create a negative on the left and a positivity on the right and detect the change from left to right. The `ProcessImage(Bitmap)` method from the `FastCornersDetector` class can be used directly using the Sobel Edge Detection Algorithm framework. It is an algorithm that searches for edges in an image [4].

3. Results and Discussion

Accurate diagnosis is very important in cancer treatment. Suspicious cell sections taken are examined under a microscope by the pathologist or doctor, and the diagnosis of the disease is made definitively. According to the type of disease, the most appropriate treatment type is determined by the doctor and treatment is started.

In this study, an algorithm will be developed for the diagnosis of cancerous region by image processing and this algorithm will be implemented in C# programming language. In this algorithm, steps of graying the image, filtering, image thresholding, edge finding will be followed respectively. The main purpose of the algorithm is to diagnose the cancerous area quickly and accurately.

Machine learning is a system that investigates the study and construction of algorithms that can learn as a structural function and make predictions on data. Such algorithms work by building a model to make data-based predictions and decisions from *e-ISSN: 2148-2683*

sample inputs, rather than strictly following static program instructions [10]. Machine learning falls into three main categories: supervised learning, unsupervised learning, and learning to learn. The learning method used in the study is the classification method under the heading of supervised learning. If the Classification Data is used to predict a category, supervised learning is called classification [12].

The classification method was applied to the study according to the data set. It is divided into 2 different classes as benign and malignant. After classification, 5 different attributes were used to determine the class: age, tumor size, menopause, X-Ray. A data set of 286 different patients, 201 of whom were benign and 85 were malignant, was used.

For breast cancer detection, breast cancer dataset developed by Matjaz Zwitter & Milan Soklic, in University Medical Centre, Institute of Oncology, Ljubljana, Yugoslavia, was used. The data set was requested via e-mail on 03/01/2018 from <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/breast+cancer>. The dataset is composed of ten types of data : class, age, menopause, tumor-size, inv-nodes, node-caps, deg-malig, breast, breast-quad and irradiat. The dataset includes the data of 286 women and 85 of them have cancer. There are 10 attributes in the data set used. These are,

TABLE I. DATA SET

1. Class: no-recurrence-events, recurrence-events
2. age: 10-19, 20-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69, 70-79, 80-89, 90-99.
3. menopause: lt40, ge40, premeno.
4. tumor-size: 0-4, 5-9, 10-14, 15-19, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59.
5. inv-nodes: 0-2, 3-5, 6-8, 9-11, 12-14, 15-17, 18-20, 21-23, 24-26, 27-29, 30-32, 33-35, 36-39.
6. node-caps: yes, no.
7. deg-malig: 1, 2, 3.
8. breast: left, right.
9. breast-quad: left-up, left-low, right-up, right-low, central.
10. irradiat: yes, no.

It consists of 5 different categories that allow us to determine the class: age, tumor size, menopause, X-Ray. There are several options to choose from for each attribute. The data set contains the information of 286 women separately. While 201 samples in the Data Set are non-cancerous, 85 samples are stated to be cancerous in the content.

In the study, Naive Bayes was used as a learning algorithm. For the algorithm to work according to the data set, it is written

according to the model consisting of 2 classes and 5 data. With the learn() method, which is used with the NaiveBayes Class by taking the data from the inputs and outputs arrays, the data is learned by the system.

After the learning process is completed, the decision phase is started. The values entered from the interface are taken as parameters and the decision making process is applied. As a result, it returns 2 results, either benign or malignant, according to the data it learns.

In this study, cancer cell examination was performed using image processing techniques as given in figures 1-7. First a code snippet was written that turns existing color images gray.

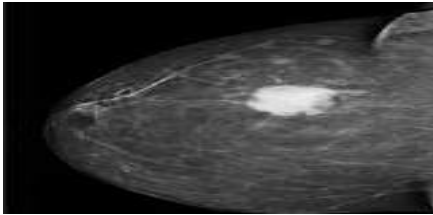


Fig. 1. The grayed out image[16]

Afterwards, Median filtering was used for the quality of the images.

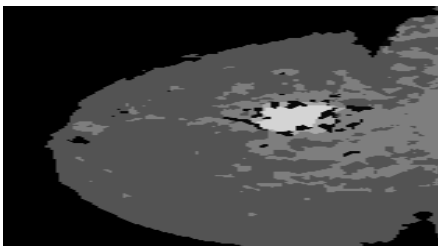


Fig. 2. Filtered image

Threshold algorithm was used to clarify the region after median filtering.



Fig. 3. Thresholding image

Finally, Sobel edge detection algorithm was used for image processing.



Fig. 4. Image with Sobel Edge Detection Algorithm algorithm applied

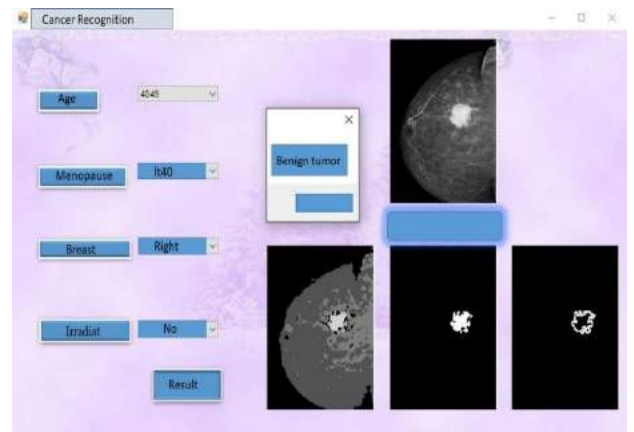


Fig. 5. Screen Output 1

If the algorithm is applied for figure 6, the screen output will be as in figure 7.

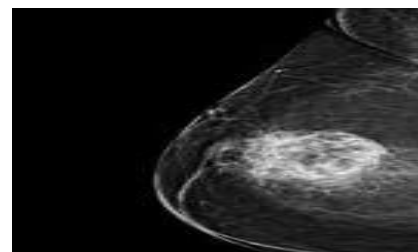


Fig. 6. The grayed out image [17]

Machine learning was used to decide whether the tumor region detected after image processing is cancerous or not. Taught the project using dataset[] and NaiveBayes Class for machine learning. As a result, the project determines the tumor area with image processing method and tells whether the tumor is cancerous or not with machine learning as given in figure 5 and 7.

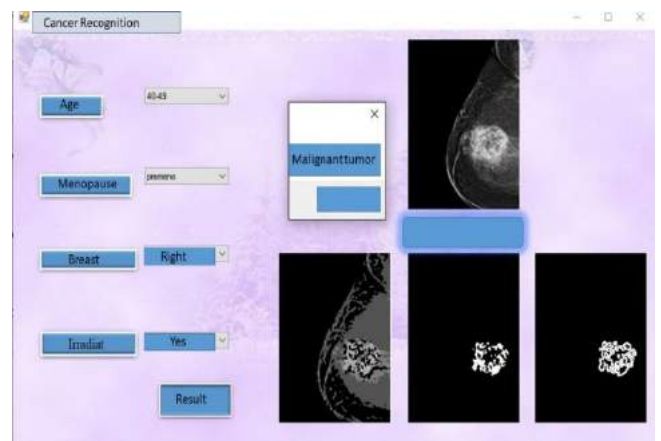


Fig. 7. Screen Output 2

4. Conclusions and Recommendations

Image processing is also used in medical applications today. With image processing, obtaining the expected information from the image is important in the diagnosis and early diagnosis of diseases. With the increasing incidence of cancer in the world, early diagnosis has become even more important. In this field, image processing enables early diagnosis of diseases by revealing the numerical information in the image that the human eye cannot

perceive. In this study, it was aimed to assist doctors in the diagnosis of cancer with the help of computers. In this study, an algorithm was written that turns existing images into gray. Then, Median filtering was applied to the image in order to increase the quality of the image. Threshold algorithm was used to clarify the region after filtering. Finally, Sobel Edge Detection algorithm was used for image processing. Machine learning was used to decide whether the tumor region detected after image processing is cancerous or not. The project determines the tumor area with image processing method and tells whether the tumor is cancerous or not with machine learning.

References

1. Kaya, P.: 2017, Türkiye'de Her Yıl 163 Bin Kişi Kanser Tanısı Alıyor! İşte Kanser İstatistikleri, Medikal Akademi, <https://www.medikalakademi.com.tr/turkiyede-her-yil-163-bin-kisi-kanser-tanisi-aliyor-iste-kanser-istatistikleri/>, last accessed 2017/12/21.
2. Siyah, B.: 2012, "Görüntü Filtreleme Uygulamaları Ve Amaçları Matlab", <http://www.bulentsiyah.com/goruntu-filtreleme-uygulamaları-ve-amaçları-matlab/>, last accessed 2018/1/7.
3. Evans, A. N., Liu, X. U.: A Morphological Gradient Approach To Color Edge Detection. In: Ieee Trans. On Image Processing, 15(6), 1454-1463, (2006)
4. Cesar, S.: 2009, The accord.net image processing and machine learning framework, <http://accord-framework.net/intro.html>, last accessed 2018/1/7.
5. Bulu, H., Alpkoçak, A.: Tıbbi Görüntüler İçin 3 Boyutlu Bölütleme Algoritmalarının Karşılaştırılması. In: 15. Sinyal İşleme Uygulamaları Kurultayı Bildiriler Kitabı, Eskişehir, 2007
6. Kutluk, T., Kars, A.: Kanser Konusunda Genel Bilgiler, Ankara, 1992, 10040932
7. Doğan, T., Sert, E., Taşkın, D.: Araç Destek Sistemleri İçin Kuş Bakışı Görüntü Dönüşümü. In: Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 23-25 January 2013, Antalya
8. Karateke, A.: Meme Kanseri Belirtileri Nelerdir, <https://www.ateskarateke.com/meme-kanseri-belirtileri-nelerdir>, last accessed 2018/1/10
9. Türkiye Meme Vakfı, <http://www.memekanseri.org.tr/meme-sağlığı/meme-kanseri-belirtileri/>, last accessed 2018/1/11
10. Alkan, M. A.: Makine Öğrenimi Nedir?, <https://www.endustri40.com/makine-ogrenimi-nedir/>, last accessed 2018/1/12
11. Makine Öğrenimine Giriş, <https://www.hpe.com/tr/tr/compute/hpc/deep-learning.html?jumpid=ps>, last accessed 2018/1/15
12. Ericson, G.: Microsoft Azure Machine Learning Studio İçin Machinelearning Algoritması Kopya Sayfası, Microsoft, Docs.Microsoft.Com/Tr-Tr/Azure/Machine-Learning/Studio/Algorithm-Cheat-Sheet, last accessed 2018/1/18
13. Kartal, E.: Sınıflandırmaya Dayalı Makine Öğrenmesi Teknikleri Ve Kardiyolojik Risk Değerlendirmesine İlişkin Bir Uygulama, Thesis, Istanbul University-Cerrahpaşa, Enformatic department, June 2015
14. Sahami, M.: Learning Limited Dependence Bayesian Classifiers. In: KDD'96: Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, (1996)
15. W. Dai Et Al. Transferring Naive Bayes Classifiers For Text Classification. In: Proceedings Of The National Conference On Artificial Intelligence. London; Aaa Press; Mit Press; 1999.
16. Breast care center, <https://www.toplinemd.com/breast-care-center-of-miami/blog/extensive-lymph-node-removal-benefits/>, last accessed 2018/1/15
17. Muzio, D., Jones, B.: Fat Necrosis(Breast), <https://radiopaedia.org/articles/fat-necrosis-breast-2>, last accessed 2018/1/15



Uçak Bakım Teknisyenleri için DEMATEL Yöntemi ile Fiziksel İş Yükü Faktörlerinin Değerlendirilmesi

Yaşar Öztürk¹, Ebru Yazgan^{2*} ve Elif Kılıç Delice³

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-9023-4972), yasar_ozturk@eskisehir.edu.tr

^{2*} Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-6545-8536), eyazgan@eskisehir.edu.tr

³ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID ID 0000-0002-3051-0496), elif.kdelice@atauni.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1010051)

ATIF/REFERENCE: Öztürk, Y., Yazgan, E., Delice, E.K. (2021). Uçak Bakım Teknisyenleri İçin DEMATEL Yöntemi ile Fiziksel İş Yükü Faktörlerinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1447-1453.

Öz

Uçak bakım teknisyenleri (UBT), ağır ve tekrarlı bir şekilde fiziksel yüklere maruz kalmakta ve bu nedenle UBT'lerin iş yükleri artmaktadır. Uçuşun emniyetli bir şekilde yapılması için UBT'lerin fiziksel iş yüklerinin incelenerek gerekli olduğu noktalarda azaltılması son derece önemlidir. Toplam iş yükü değerlendirmesi fiziksel iş yükü faktörlerine bağlı olarak ortaya çıkan bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınabilir. Bu çalışma kapsamında ise UBT'lerin toplam iş yükü etkenleri içerisinde yer alan fiziksel iş yükü faktörlerinin önceliklendirilmesini hesaplayabilmek için ÇKKV yöntemlerinden biri olan DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi kullanılmıştır. Fiziksel iş yükü faktörleri olarak çalışma duruşlarını etkileyen vücut kısımları bel, boyun, omuzlar, sırt, üst kol, ön kol, dirsekler, el bilekleri, kalça, alt bacaklar, ayak bilekleri, dizler ve uyluklar dikkate alınmıştır. Bir uçak bakım organizasyonunda çalışan UBT'ler üzerinde yapılan bu çalışmada en önemli ilk dört faktör bel, sırt, kalça ve dirsekler olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen bulgulara göre UBT'lere iş yüklerinin azaltılması için alınması gereken önlemler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Uçak Bakım Teknisyeni, İş yükü, DEMATEL, Çok Kriterli Karar Verme.

Evaluation of Physical Workload Factors with DEMATEL Method for Aircraft Maintenance Technicians

Abstract

Aircraft maintenance technicians (AMT) are exposed to heavy and repetitive physical loads, and therefore the workloads of AMTs are increasing. In order to make the flight safely, it is extremely important to reduce the physical workloads of AMTs by examining them where necessary. Total workload assessment can be considered as a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) problem that arises depending on physical workload factors. Within the scope of this study, the DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) method, which is one of the MCDM methods, was used to calculate the prioritization of physical workload factors included in the total workload factors of AMTs. Body parts that affect working postures, waist, neck, shoulders, back, upper arms, forearms, elbows, wrists, hips, lower legs, ankles, knees and thighs were considered as physical workload factors. In this study conducted on AMTs working in an aircraft maintenance organization, the first four most important factors were identified as waist, back, hips and elbows. According to the findings obtained as a result of the study, the measures to be taken to reduce the workloads were presented to the AMTs.

Keywords: Aircraft Maintenance Technician, Workload, DEMATEL, Multi-Criteria Decision Making.

1. Giriş

UBT'ler uçak üzerinde planlı veya plansız çeşitli bakım ve onarımlar yapan, uçakların uçuşa elverişliliğinin kontrolünü yapıp onaylayan kalifiye çalışanlardır. Amerika Birleşik Devletleri'nde tarifeli hava taşımacılığı sektöründe yaklaşık 5,5 milyon kişinin istihdam edildiği, bunlardan 35,820'sinin ise bakım ve onarım endüstrisinde çalıştığı belirtilmiştir [1]. Türkiye'de ise 2019 yılı itibariyle 4547 lisanslı teknisyen görev yapmaktadır [2].

UBT'ler bakım hangarlarında veya pist üzerinde uçakların modifikasyon, arıza giderme, parça değişimi gibi faaliyetlerini yürütürken ağır yük kaldırma, uygun olmayan pozisyonlarda çalışma gibi birtakım fiziksel yüklerle maruz kalmaktadır. Bu fiziksel yükler teknisyenlerde kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilmektedir. Teknisyenler zaman baskısı, anlık plansız bakımlar gibi zihinsel zorlanmalara ve ayrıca çalıştıkları havaalanı veya hangar ortamı gereğince sıcaklık, gürültü, aydınlatma gibi çevresel zorlanmalara maruz kalmakta bu da çalışanların iş yüklerine etki etmektedir.

Bu çalışmada ise UBT'lerin iş sırasında maruz kaldıkları iş yükünün birbiriyle ilişkili birden fazla faktöre bağlı olması nedeniyle ÇKKV yöntemlerinden biri olan DEMATEL yöntemi kullanılarak en önemli iş yükü faktörleri belirlenmiş ve bu faktörlere bağlı olarak iş yüklerinin azaltılması için alınması gereken önlemler açıklanmıştır.

DEMATEL metodu, ilk olarak 1972-1976 yıllarında Cenevre Araştırma Merkezi (Battelle Memorial Institute)'nde karmaşık nedensel ilişkilerin yapısını gözler önüne sermek için kullanılmıştır [3-4]. DEMATEL metodu değerlendirilecek alternatifler arasındaki nedenselliğin çözülmesi ve kriterlerin önemlerinin belirlenmesi açısından en verimli metotlardan biri olarak görülmektedir [5]. DEMATEL metodunda eldeki kriterler neden ve sonuç olmak üzere iki gruba ayrılır. Neden grubunda bulunan kriterlerin diğer kriterler üstündeki etkisinin daha fazla olduğu ve bu yüzden öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken kritik grubu olduğu düşünülmektedir. Sonuç grubunda bulunan kriterler ise diğer kriterler tarafından daha fazla etkilendiğinden önceliği düşük olarak ele alınan kriter grubudur [6]. Literatür taraması yapıldığında DEMATEL'in performans analiz çalışmaları [7], hastanelerdeki hizmet kalitesine etki eden kritik faktörleri belirleme [8], kara taşımacılığı yapan bir işletmenin kamyon seçimi [9] gibi birçok farklı alanda tercih edilen bir yöntem olduğu görülmektedir.

Literatür taraması sonucunda UBT'lerin iş yükü faktörlerini özellikle ÇKKV yöntemleri kapsamında inceleyen bir çalışma olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada fiziksel iş yükü faktörleri incelenmiştir. Fiziksel iş yükü Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ) ve Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NQM)'de yer alan vücudun bel, boyun gibi 13 farklı bölgesi dikkate alınarak UBT'lerin iş yüklerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde; fiziksel iş yükü hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde DEMATEL yönteminin adımları ve UBT'ler için yapılan uygulamadan bahsedilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. Fiziksel İş Yükü

Kas-iskelet sistemi (KİS) rahatsızlıkları Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu'nun da tanımladığı gibi kas-iskelet sisteminde oluşan ve işten kaynaklanan rahatsızlıklar veya hastalıklardır. "İşten kaynaklanan" terimi Dünya Sağlık Örgütü tarafından iş performansı ve iş çevresi gibi iki faktörün etkisiyle başlayan çok etkenli bir hastalığın bilimsel nedenini tanımlamak için kullanılmaktadır. KİS rahatsızlıkları özellikle eğilme, doğrulma, tutma, kavrama, bükme ve uzanma gibi basit vücut hareketlerinden kaynaklı meydana gelmektedir. Bunlar günlük yaşamda sağlığa zararı dokunan hareketler değildirler. Bu hareketleri zararlı hale getiren, çalışma esnasındaki tekrarlar, kuvvet uygulama gereksinimi ve hızlı hareketlerdir. KİS rahatsızlıkları anında gelişen değil artan derecelerde yavaş gelişen travmalardır [10].

NMQ ve CMDQ çalışma duruşlarına ve çalışanların fiziksel özelliklerine bağlı olarak fiziksel iş yükü etkilerini ortaya çıkarmak için kullanılan iki anket türüdür. NMQ iki bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde kişilerin yaşı, boyu, ağırlıkları, ne zamandır devam etmekte olduğu işte çalıştığı ve günde kaç saat çalıştığı gibi sorular yer almaktadır. İkinci bölümde ise vücudun belli bölümlere ayrıldığı 9 belirti (semptom) bölgesindeki (boyun, omuzlar, sırt, bel, dirsekler, el bilekleri-eller, ayak bilekleri-ayaklar, uyluklar-kalçalar, dizler) son 12 ayda ve son 7 günde meydana gelen rahatsızlıklar araştırılmaktadır [11]. CMDQ anketinin uygulanma amacı ise çalışanların cinsiyet, mesleği icra ediş şekli ve vücut postürü gibi faktörleri de değerlendirmeye katılarak vücutlarında meydana gelen ağrıların sıklığı, şiddeti ve aynı zamanda iş performanslarına etkilerini hesaplamaktır. Uygulama yapılırken çalışanların son 1 haftada yaşamış oldukları ağrı, sızı vb. rahatsızlıklar dayanak olarak alınır. Rahatsızlıkların sıklığı ve şiddetleriyle ilgili birtakım sorular yöneltilir. Vücudun boyun, omuz (sol-sağ), sırt, üst kol (sol-sağ), bel, ön kol (sol-sağ), el bileği (sol-sağ), kalça, üst bacak (sol-sağ), diz (sol-sağ) ve alt bacak (sol-sağ) olmak üzere toplamda 18 farklı bölgesi için anket soruları yöneltilir ve geri dönüşler alınarak risk puanlaması hesaplanır [12].

3. Method

Çalışmada faktör ağırlıklarının belirlenmesi için DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde önce DEMATEL yönteminden ve yöntemin adımları açıklanmıştır. Daha sonra hat bakımda çalışan UBT'lerin maruz kaldıkları fiziksel iş yükü faktörlerinin ağırlıklandırılmasına ilişkin yöntemin uygulama çalışması sunulmuştur.

3.1. DEMATEL Yöntemi

DEMATEL, karmaşık faktörler arasındaki nedensel ilişkileri içeren yapısal bir modeli oluşturmak ve analiz etmek için kapsamlı bir yöntemdir [13]. Görselleştirmelerle problemlerin çözülmesi ve analiz edilmesini sağlayan, grafik teorisi temelli bir yöntemdir [14]. AHP (Analytical Hierarchical Process) yönteminde kriterler birbirleriyle ilişkileri açısından bağımsız bir değerlendirmeye alınmaktadır. Ancak DEMATEL'in kriterler arasında bulunan ilişkiyi ortaya çıkarmaya çalışan bir yöntem olması onu AHP'den ayıran önemli bir özelliktir [15].

3.2. DEMATEL Yöntem Adımları

Bu bölümde DEMATEL yönteminin adımları açıklanmıştır.

Adım 1: Direkt İlişki Matrisini Oluşturma

Öncelikle kriterler arasındaki ilişkiler Tablo 1’deki gibi 0-4 puan arasında puanlanarak kriterlerin birbirlerini ne kadar etkilediği anlaşılır.

Tablo 1. İkili Karşılaştırma Skalası

Sayısal Değer	Tanım
0	Etkisiz
1	Düşük Etki
2	Orta Etki
3	Yüksek Etki
4	Çok Yüksek Etki

Devamında bulunan sonuçlara göre $n \times n$ tipinde bir matris oluşturulur. Bu matrise “Direkt İlişki Matrisi” denmektedir. Tablo 2’ye bakacak olursak Kriter 1, Kriter 2’yi “Yüksek Etkili” etkilerken Kriter 3, Kriter 2’yi “Düşük Etkili” etkilemektedir.

Tablo 2. Örnek Karşılaştırma

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3
Kriter 1	0	3	2
Kriter 2	2	0	1
Kriter 3	4	1	0

Direkt ilişki matrisinin köşegeninde yer alan değerler 0 olmalıdır. Ayrıca simetrik bir matris değildir [16]. Direkt ilişki matrisinde bulunan tüm x_{ij} elemanlarında kriter i ’nin kriter j ’ye olan ilişkisi ifade edilir. p değeri danışılan uzman sayısını yani kaç tane direkt ilişki matrisi oluşturulduğunu belirtir. Oluşturulan tabloya göre aşağıda bulunan Eşitlik (1) kullanılarak ortalama değerler bulunur ve sonuçlara göre ortalama direkt ilişki matrisi oluşturulur. Oluşturulan bu A matrisi karar verici konumunda olan uzman grubun ortak kararını gösterir.

$$a_{ij} = \frac{1}{p} \sum x_{ij} \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Adım 2: Normalleştirilmiş Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması

Adım 1’de bulunmuş olan direkt ilişki matrisi A Eşitlik (3)-(4) kullanılarak normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (M) elde edilir.

$$k = \min \left(\frac{1}{\max \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right) \quad (3)$$

$$M = k \times A \quad (4)$$

Direkt ilişki matrisinde olduğu gibi normalleştirilmiş direkt ilişki matrisinde de köşegen değerleri 0 olmalıdır [17]. Kalan değerler 0 ve 1 arasında olmalıdır.

Adım 3: Toplam İlişki Matrisi (T)’nin Oluşturulması

Normalleştirilmiş ilişki matrisi bulunduğundan sonra Eşitlik (5)’nin kullanılmasıyla T matrisi oluşturulur.

$$T = M(I - M)^{-1} \quad (5)$$

Eşitlik (6)’da verilen I , $n \times n$ boyutlarında olan bir birim matristir.

Adım 4: Gönderici ve Alıcı Gruplarının Belirlenmesi

Eşitlik (6)-(8) kullanılarak oluşturulan T matrisinde i ’nci satır toplamı olan R_i , i kriterinin diğer kriterlere doğrudan ve dolaylı etkilerinin toplamını verir. C_i ise T matrisindeki sütunların toplamını verir ve diğer kriterlerin oluşturduğu etki toplamını ifade eder.

$$T = [T_{i,j}]_{n \times n}, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^n T_{i,j} \quad (7)$$

$$C_i = \sum_{i=1}^n T_{i,j} \quad (8)$$

$R_i - C_i$ ’de pozitif değerlere sahip kriterlerin, diğer kriterler üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğunu yani gönderici kriter grubunu; $R_i - C_i$ değeri için negatif değere sahip olan kriterler ise diğer kriterlerden daha fazla etkilendiklerini yani alıcı grubunu gösterir. $R_i + C_i$ değerleri herhangi bir kriterin diğer kriterler ile arasındaki ilişkisini göstermektedir.

Adım 5: Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenir.

$$w_i = \sqrt{[R_i + C_i]^2 + [R_i - C_i]^2} \quad (9)$$

$$w_i^* = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (10)$$

Burada w_i^* i ’nci kriterin nihai ağırlık değeridir.

3.3. Uygulama

Uçak bakım teknisyenleri (UBT)’ler hava aracı bakım kuruluşlarında ağırlıklı olarak hat ve üs bakımında çalışırlar. Hat bakımında çalışan teknisyenler zaman baskısı altında hava aracı veya hava aracı parçasının onaylanmış standartlara uygun olarak hangar gerektirmeyen bakım, onarım, parça değiştirme ve arıza giderme işlemlerini yaparlar. Üs bakımında çalışan teknisyenler ise hava aracı üzerinde, hangar ve atölye mekânlarında onaylanmış standartlara göre modifikasyon, onarım, parça değiştirme veya hasar giderme işlemlerini yaparlar. Uçak bakım teknisyenleri, işleri gereği ağır yükler kaldırmakta, bakım ve onarım esnasında ise kas iskelet yaralanmalarına neden olacak yüksek riskli pozisyonlarda çalışmaktadırlar.

İş ortamında yaşanan kas iskelet yaralanmaları uçak bakım teknisyenleri tarafından sıklıkla rapor edilen durumlardandır. Örneğin bakım onarım çalışanlarında kas iskelet yaralanmalarının %35,4’ünü burkulma, incinme, yırtılma; %9’unu ise kırılmalar oluşturmaktadır [18]. Bu durumdan vücutta en çok etkilenen bölgeler bel, omuzlar, ayaklar, bacaklar, boyun, eller ve kollarıdır [19]. Yapılan bir araştırmada teknik personelde bel ağrısı görülme sıklığı %65 olarak ölçülmüştür. Araştırma ve anket sonuçlarına göre bu ağrılara neden olan faktörler arasında fiziksel olarak ağır yüklerle çalışma, eğilme, gövdeyi burkarak çalışma [20] ve özellikle el ile bilek bölgelerinde olmak üzere titreşimli yüklere maruz kalma [20] gibi etkenler vardır. Bu faktörler uçak teknisyenlerindeki fiziksel iş yükünü oluşturmaktadır. Bunların

yanında teknisyenlerin ofiste geçirdikleri zamanın [22] ve çalışma sürelerinin [20] de kas iskelet yaralanmalarına neden olan faktörlerden olabileceği görülmüştür.

Bu uygulamada DEMATEL yöntemi uygulanarak UBT'lerin fiziksel iş yükleri önceliklendirilmiştir. DEMATEL yöntemi 5 adımda uygulanmıştır.

Adım 1: Direkt İlişki Matrisini Oluşturma

İlk olarak hat bakım konusunda üç uzman tarafından Tablo 1'de verilen skala kullanılarak üç farklı direk ilişki matrisi oluşturulmuş ve daha sonra Eşitlik (1)-(2) kullanılarak ortalama direk ilişki matrisi Tablo 3'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Adım 2: Normalleştirilmiş Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada Tablo 3'de gösterilen ortalama direk ilişki matrisi Eşitlik (3) kullanılarak normalize edilmiş ve Tablo 4'de gösterilen normalleştirilmiş direk ilişki matrisi elde edilmiştir.

Adım 3: Toplam İlişki Matrisi (T)'nin Oluşturulması

Normalleştirilmiş ilişki matrisi ve Eşitlik (5) kullanılarak toplam ilişki matrisi Tablo 5'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3. Ortalama Direkt İlişki Matrisi

Kriterler (Faktörler)	Boyun	Omuzlar	Dirsekler	El Bilekleri	Sırt	Bel	Kalça	Dizler	Ayak Bilekleri	Üst Kol	Ön Kol	Uyluk	Alt Bacak
Boyun	0.00	2.00	3.33	2.00	2.33	2.00	2.33	1.33	2.67	2.67	2.00	2.00	1.67
Omuzlar	3.00	0.00	3.00	3.00	1.33	1.33	3.00	3.67	3.00	1.33	1.67	2.00	3.00
Dirsekler	1.00	1.00	0.00	1.00	0.67	0.33	1.67	2.00	1.00	1.33	1.00	1.00	1.00
El Bilekleri	1.33	1.33	2.67	0.00	1.00	1.33	1.33	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.67
Sırt	4.00	4.00	3.67	4.00	0.00	3.33	4.00	3.67	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Bel	3.67	4.00	4.00	4.00	3.67	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Kalça	1.67	2.00	2.33	2.00	0.67	0.67	0.00	1.33	1.33	2.33	2.33	1.33	1.33
Dizler	3.00	1.67	3.00	2.67	0.67	1.00	3.00	0.00	3.00	3.67	3.00	2.00	2.00
Ayak Bilekleri	1.33	1.33	1.33	1.00	0.67	1.00	2.67	2.00	0.00	1.67	1.33	1.33	1.33
Üst Kol	0.67	1.33	2.67	3.00	1.00	0.67	2.67	1.33	1.67	0.00	1.33	1.33	1.67
Ön Kol	1.33	1.67	1.33	2.00	0.67	0.67	2.67	1.33	1.33	1.67	0.00	1.33	1.33
Uyluk	1.00	1.00	2.33	1.00	0.33	0.67	2.33	1.00	2.33	1.33	1.00	0.00	1.00
Alt Bacak	1.33	1.33	2.67	1.33	1.00	0.67	1.33	1.33	2.67	1.33	1.33	1.33	0.00

Tablo 4. Normalleştirilmiş Direkt İlişki Matrisi

Kriterler (Faktörler)	Boyun	Omuzlar	Dirsekler	El Bilekleri	Sırt	Bel	Kalça	Dizler	Ayak Bilekleri	Üst Kol	Ön Kol	Uyluk	Alt Bacak
Boyun	0.00	0.04	0.07	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04
Omuzlar	0.06	0.00	0.06	0.06	0.03	0.03	0.06	0.08	0.06	0.03	0.04	0.04	0.06
Dirsekler	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
El Bilekleri	0.03	0.03	0.06	0.00	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04
Sırt	0.08	0.08	0.08	0.08	0.00	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Bel	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Kalça	0.04	0.04	0.05	0.04	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03
Dizler	0.06	0.04	0.06	0.06	0.01	0.02	0.06	0.00	0.06	0.08	0.06	0.04	0.04
Ayak Bilekleri	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.06	0.04	0.00	0.04	0.03	0.03	0.03
Üst Kol	0.01	0.03	0.06	0.06	0.02	0.01	0.06	0.03	0.04	0.00	0.03	0.03	0.04
Ön Kol	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01	0.01	0.06	0.03	0.03	0.04	0.00	0.03	0.03
Uyluk	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01	0.05	0.02	0.05	0.03	0.02	0.00	0.02
Alt Bacak	0.03	0.03	0.06	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	0.03	0.00

Tablo 5. Toplam İlişki Matrisi

Kriterler (Faktörler)	Boyun	Omuzlar	Dirsekler	El Bilekleri	Sırt	Bel	Kalça	Dizler	Ayak Bilekleri	Üst Kol	Ön Kol	Uyluk	Alt Bacak
Boyun	0.04	0.08	0.12	0.09	0.07	0.06	0.10	0.07	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08
Omuzlar	0.10	0.04	0.12	0.11	0.05	0.05	0.12	0.12	0.11	0.08	0.08	0.08	0.10
Dirsekler	0.04	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.06	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04
El Bilekleri	0.06	0.05	0.09	0.03	0.04	0.04	0.06	0.07	0.08	0.05	0.05	0.07	0.06
Sırt	0.15	0.15	0.17	0.16	0.04	0.11	0.17	0.15	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
Bel	0.14	0.15	0.18	0.16	0.11	0.04	0.17	0.15	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15
Kalça	0.06	0.07	0.09	0.07	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.08	0.07	0.05	0.06
Dizler	0.10	0.07	0.12	0.10	0.04	0.04	0.11	0.04	0.11	0.12	0.10	0.08	0.08
Ayak Bilekleri	0.05	0.05	0.06	0.05	0.03	0.04	0.09	0.07	0.03	0.06	0.05	0.05	0.05
Üst Kol	0.04	0.05	0.09	0.09	0.04	0.03	0.09	0.06	0.07	0.03	0.05	0.05	0.06
Ön Kol	0.05	0.06	0.06	0.07	0.03	0.03	0.09	0.05	0.06	0.06	0.03	0.05	0.05
Uyluk	0.04	0.04	0.08	0.04	0.02	0.03	0.08	0.04	0.07	0.05	0.04	0.02	0.04
Alt Bacak	0.05	0.05	0.09	0.06	0.04	0.03	0.06	0.06	0.08	0.06	0.05	0.05	0.03

Adım 4: Gönderici ve Alıcı Gruplarının Belirlenmesi

Eşitlik (6)-(8) kullanılarak etken ve etkilenen kriter grupları belirlenir. Tablo 6’da gösterildiği gibi boyun, omuzlar, sırt, bel ve diz kriterleri için R_i-C_i değerleri pozitif değer aldıklarından dolayı diğer kriterler üzerinde daha yüksek etkiye sahiptirler ve gönderici grubundadırlar. Diğer kriterler ise negative R_i-C_i değerine sahip olduklarından diğer kriterlerden etkilenirler ve bu kriterler alıcı grubundadırlar. R_i+C_i değerleri yüksek olan sırt, bel ve diz kriterleri diğer kriterlerle daha fazla ilişkilidir.

Adım 5: Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tablo 6’ da verilen R_i-C_i ve R_i+C_i değerleri Eşitlik (9)-(10) kullanılarak Tablo 7’de gösterilen kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuç olarak Tablo 7’de fiziksel iş yükü faktörlerinin öncelikleri belirlenmiştir. Tablo 7’e bakıldığında UBT’lerde iş yükünü etkileyen en önemli ilk dört faktör bel, sırt, dizler ve omuzlar olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Etken ve Etkilenen Grubun Belirlenmesi

Kriterler (Faktörler)	Ri	Ci	Ri + Ci	Ri- Ci
Boyun	1.08	0.93	2.00	0.15
Omuzlar	1.17	0.90	2.07	0.27
Dirsekler	0.53	1.30	1.83	-0.77
El Bilekleri	0.76	1.07	1.83	-0.32
Sırt	1.86	0.56	2.42	1.29
Bel	1.88	0.55	2.43	1.33
Kalça	0.77	1.24	2.01	-0.48
Dizler	1.11	1.00	2.11	0.11
Ayak Bilekleri	0.69	1.15	1.84	-0.46
Üst Kol	0.76	1.05	1.81	-0.29
Ön Kol	0.69	0.96	1.65	-0.26
Uyluk	0.60	0.94	1.54	-0.34
Alt Bacak	0.70	0.95	1.65	-0.25

Tablo 7. Fiziksel iş yükü kriterlerinin ağırlıkları

İş Yükü Kriterleri (Faktörleri)	Öncelik Ağırlıklandırılması
BEL	0,11
SIRT	0,10
DİZLER	0,08
OMUZLAR	0,08
KALÇA	0,08
BOYUN	0,08
DİRSEKLER	0,08
AYAK BİLEKLERİ	0,07
EL BİLEKLERİ	0,07

ÜST KOL	0,07
ALT BACAĞ	0,06
ÖN KOL	0,06
UYLUK	0,06

4. SONUÇLAR

Havacılık sektöründe gerçekleştirilen görevlerin ve işlerin çeşitliliği, ergonomik risklerin ölçülmesini ve etkili azaltma stratejilerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada UBT’lerin yaptıkları işlerde hangi fiziksel işyükü faktörlerinin daha büyük önem derecesine sahip olduğunu belirlemek için hat bakım konusunda uzman karar vericilerin görüşleri alınarak DEMATEL yöntemi kullanılmıştır.

UBT’lerde fiziksel iş yükünden dolayı kas iskelet sistemindeki rahatsızlıklar üzerine yapılan diğer çalışmalara benzer şekilde [19]; [20]; [22]; [23]; [24]; [25], bu çalışmada bel ve sırt bölgesinin en çok zorlanan bölgeler olduğu bulunmuştur. UBT’lerin kas-iskelet sistemi, teknisyenin farklı fiziksel yapısı ve fiziksel yeteneklerini aşan ağır parçaları kaldırılması da yaralanmalara yol açabilir. Bir uçağı kaldırmak için vinç gibi yardımcıların kullanılması, insanoğlunun fiziksel sınırlarını aşan görevleri yerine getirmeyi kolaylaştırabilir. Modern uçakların çoğu, uçak ekipmanına kolay erişim sağlamak, nesnelere gevşetmek veya sıkıştırmak için gerekli gücü uygulamak, vb. için bakım kolaylığı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, bu çözümler UBT’ler için olası yaralanmaları önlemek için tamamen yeterli olmayabilir [26]. Bu nedenle bu çalışmada hat bakımında çalışan teknisyenler için özellikle en önemli fiziksel iş yükü faktörünün “bel ve sırt bölgesi” olarak ortaya çıkmasını açıklayabilir.

UBT’ler üzerinde fiziksel iş yükü faktörlerinin zararlı etkilerinin azaltılması için iş başı eğitimlerinde egzersiz ve ergonomi prensipleri hakkında bilgi verilmelidir. Maruz kalınan iş yüklerinin ergonomik açıdan en fazla ne kadar olması gerektiği konusunda çalışmalar artırılabilir. Çalışanlara aynı şekilde uygun takım ve ekipmanların kullanımı konusunda bilgilendirmeler yapıp organizasyon bünyesinde temin edilebilir.

5. Teşekkür

Uzman ekibine desteklerinden dolayı çok teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Bureau of LaborStatistics, 2016. ScheduledAirTransportation - OES Industry-Specific
- [2] SHGM Faaliyet Raporu (2019) <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/faaliyet/2019.pdf>.
- [3] Fontela, E. ve Gabus, A. (1974). DEMATEL, innovative methods. Report no. 2 structural analysis of the world problematique, Battelle Geneva Research Institute, Geneva, Switzerland, 67-69.
- [4] Li, C., & Tzeng, G. (2009). Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a

- semiconductor intellectual property mall. *Expert Syst. Appl.*, 36, 9891-9898.
- [5] C. W. Hsu, T. C. Kuo, S. H. Chen, and A. H. Hu. (2013). Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, vol. 56, pp. 164–172.
- [6] Tseng, M. L., & Lin, Y. H. (2009). Application of fuzzy DEMATEL to develop a cause and effect model of municipal solid waste management in Metro Manila. *Environmental monitoring and assessment*, 158(1-4), 519–533. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0601-2>
- [7] Hu, H., Lee, Y., Yen, T., & Tsai, C. (2009). Using BPNN and DEMATEL to modify importance-performance analysis model - A study of the computer industry. *Expert Syst. Appl.*, 36, 9969-9979.
- [8] Shieh, J., Wu, H.H., Huang, K.K. (2010), A DEMATEL Method in Identifying Key Success Factors of Hospital Service Quality, *Knowledge-Based Systems*, Volume 23, Issue 3, April 2010, 277-282
- [9] Baykasoglu, A., Kaplanoglu, V., Durmusoglu, Z. D. U., & Sahin, C. (2013). Integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for truck selection. *Expert Systems with Applications*, 40(3), 899–907. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.046>
- [10] Akay, D., Kurt, M. & Dağdeviren, M. (2013). Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (3), Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6657/88995>
- [11] Crawford, J. O. (2007). The Nordic Musculoskeletal Questionnaire. *Occupational Medicine-Oxford*, 57(4), 300–301. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqm036>
- [12] Güneş, Ü, Ceylan, B. (2016). Akademisyen Hemşirelerin Bilgisayarlı Çalışma Ortamındaki Ergonomik Koşullarının Ve Buna Bağlı Ortaya Çıkan Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarının İncelenmesi. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 32 (2), 61-74. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/egehemsire/issue/49330/630105>
- [13] Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000–3011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162>
- [14] Lin, R. J. (2013). Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices. *Journal of Cleaner Production*, 40, 32-39.
- [15] Rajesh, R., & Ravi, V. (2015). Modeling enablers of supply chain risk mitigation in electronic supply chains: A Grey-DEMATEL approach. *Comput. Ind. Eng.*, 87, 126-139.
- [16] Tsai, W., & Chou, W. (2009). Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. *Expert Syst. Appl.*, 36, 1444-1458.
- [17] Aksakal, E. & Dağdeviren, M. (2021). ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünlük bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905–913.
- [18] Bureau of Labor Statistics, 2015. *Nonfatal Occupational Injuries and Illnesses Requiring*
- [19] Chae, D.H. and Kim, J. H. (2005). Risk factors for musculoskeletal symptoms in aviation maintenance technicians. *Korean Journal of Occupational Environment Medicine*. 17(3):173-185.
- [20] Zungu, L.I., Nigatu, E.S., (2015). A Comparative Study of the Prevalence and Risk Factors of Lower Back Pain among Aircraft Technicians in Ethiopian Airlines. In: *Occupational Health Southern Africa*. Vol. 21. SASOM (The South African Society of Occupational Medicine), <https://journals.co.za/doi/10.10520/EJC169017>
- [21] Irwin, E., & Streilein, K. (2015). Use of Field-based Motion Capture to Augment Observational data in ergonomic Assessment of Aircraft Maintenance. *Procedia*
- [22] Rodriguez, H. A. F., & Ortiz Mayorga, V. A. (n.d.) (2016). Characterization of low back pain in pilots and maintenance technicians on a commercial airline. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(9), 795–799. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4384.2016>
- [23] Nogueira, H. C., Diniz, A. C., Barbieri, D. F., Padula, R. S., Carregaro, R. L., & de Oliveira, A. B. (2012). Musculoskeletal disorders and psychosocial risk factors among workers of the aircraft maintenance industry. *Work* (Reading, Mass.), 41 Suppl 1, 4801–4807. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0767-4801>
- [24] Asadi, H., Yu, D., & Mott, J.H. (2019). Risk factors for musculoskeletal injuries in airline maintenance, repair & overhaul. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70, 107-115.
- [25] Yazgan, E, Ozkan, N.F ve Ulutaş, B.H. (2021). A Questionnaire-based musculoskeletal disorder Assessment for aircraft maintenance technicians. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, DOI 10.1108/AEAT-03-2021-0076.
- [26] CAA, Civil Aviation Authority (2002), CAP 715: an introduction to aircraft maintenance engineering human factors for JAR 66., <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP715.PDF> (accessed 02 Ekim 2021).



Comparison of Some Numerical Approaches for Determination of Dynamic Characteristics in Beam and Plate Elements

Mustafa Tolga Yavuz^{1*}, Ibrahim Ozkol²

^{1*} Istanbul Technical University, Department of Aeronautical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0001-7728-3713), yavuzmusta@itu.edu.tr

² Istanbul Technical University, Department of Aeronautical Engineering, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9300-9092), ozkol@itu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011242)

ATIF/REFERENCE: Yavuz, M. T., Ozkol, I. (2021). Comparison of Some Numerical Approaches for Determination of Dynamic Characteristics in Beam and Plate Elements. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1454-1468.

Abstract

In the last few decades, many numerical methods have been developed and employed to solve for various types of linear and nonlinear equations due to challenges in the aspect of the implementation of governing equations and boundary conditions, computation time, algorithm complexity, accuracy, convergency, stability of the solution and so on. Of the numerical methods in the open literature, differential quadrature (DQM), differential transform (DTM), and finite difference (FDM) methods are expressed briefly with their algorithms and compared to each other for the modal analysis of beam and plate elements. For simplicity, shear strains effects are neglected for the chosen structural elements, and plate element is reduced to one-dimensional case up to chosen simply-supported boundary condition. Under these assumptions, computed non-dimensional natural frequencies by applying concerned methods are tabulated, and mode shapes are plotted. To understand the strength and accuracy of employed methods, numerical results in the high vibration modes are investigated, and it is seen that DTM gives faster and more accurate solutions while the results of DQM depend on chosen grid distribution and has less accurate than DTM. However, the ease of implementation and accurate results for multi-dimensional cases are pros properties of the DQM.

Keywords: Dynamic Characteristics, Differential Quadrature, Differential Transform, Euler Beam, Finite Difference, Kirchhoff Plate.

Kiriş ve Plak Elemanlarda Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi için Kullanılan Bazı Sayısal Yaklaşımların Karşılaştırılması

Öz

Son yıllarda, temel denklemlerin ve sınır koşullarının kodlanması, hesaplama süresi ve algoritma karmaşıklığı azaltmak, çözümün doğruluğunu artırmak ve hızlı yakınsamasını sağlamak, çözümün kararlılığı artırmak vb. nedenlerden ötürü çeşitli türdeki doğrusal ve doğrusal olmayan denklemleri çözebilmek için birçok sayısal yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, literatürde sıkça kullanılan sayısal yöntemlerden; diferansiyel kareleme (DKY), diferansiyel dönüşüm (DDY) ve sonlu farklar (SFY) yöntemleri algoritmaları ile kısaca anlatılmış ve giriş ve plakanın modal analizi için uygulanarak sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Seçilen yapısal elemanlarda kesme gerinmesi etkileri ihmal edilmiş, plaka elemanlar ise basit mesnetli sınır koşulu kullanılarak tek boyutlu duruma indirgenmiştir. Bu varsayımlar altında, anlatılmakta olan sayısal yöntemler uygulanarak boyutsuz doğal frekanslar hesaplanarak tablolaştırılmış ve mod şekilleri çizdirilmiş. Kullanılan yöntemlerin gücünü ve doğruluğunu anlamak için, yüksek titreşim modlarında sayısal sonuçlar irdelenmiş ve DDY'nin daha hızlı ve daha doğru çözümler verdiği, DQM'nin sonuçlarının ise seçilen düğüm noktaları dağılımına bağlı olduğu ve dolayısıyla DDY'den daha az doğru olduğu görülmüştür. Ancak, uygulama kolaylığı ve çok boyutlu durumlar için doğru sonuçlar DKY'nin olumlu özellikleridir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik Karakteristikler, Diferansiyel Kareleme, Diferansiyel Dönüşüm, Euler Kiriş, Kirchhoff Plaka, Sonlu Farklar.

* Corresponding Author: yavuzmusta@itu.edu.tr

1. Introduction

Solving partial and ordinary differential equations with satisfactory accuracy in structural mechanics or other fields of engineering is always a challenge for engineers in the last few decades. Therefore, numerous global and local numerical methods such as Adomian Decomposition, Differential Quadrature, Differential Transform, Finite Difference, Mesh Free Galerkin, Dynamic Stiffness, Transfer Matrix, Discrete Singular Convolution, Fourier Series, Rayleigh-Ritz, and Chebyshev-Wavelet, etc. have been developed to solve a variety of complicated engineering problems in the literature. Of these numerical approaches, Bellman et al. (1972) firstly introduced the differential quadrature method (DQM) to solve various nonlinear partial differential equations accurately by transforming them into a set of algebraic expressions, and many researchers contributed to the development of this method in the following years. In this technique, approximate the derivatives of a differential function at a grid point are expressed by using weighting coefficients, and then weighted coefficients of all grid points in the discretized domain are summed to find a weighted linear sum of the function. For many problems discussed in the papers (Civan and Slipecevich, 1984; Wang and Bert, 1993; Wang et al., 1993; Du et al., 1994; Du et al., 1995; Malik and Bert, 1996; Shu and Du, 1997; Tornabene et al., 2009; Arikoglu and Ozkol, 2012; Tornabene et al., 2015; Yavuz and Ozkol, 2021), the technique gives satisfactory results in the case of chosen well-optimized spaces between grid points and well-determined weighting coefficients for suitable approximation functions. Ease of implementation of linear/nonlinear boundary conditions, less expensive computation methodology, low memory requests, simple algorithm scheme, solvability of complex geometries is a few of the prominent features.

The differential transformation method (DTM) is another technique frequently used in computational mechanics, which is first introduced through Zhou's circuit analysis studies (1986). By using this technique, the governing differential equations are transformed into recurrence relations with the help of a differential transformation table, and boundary conditions are stated as algebraic equations. Then, semi-analytical and numerical solutions based on Taylor series expansion are obtained for interested differential equations. In recent years, voluminous studies, especially related to vibration analysis of one-dimensional structures (Malik and Dang, 1998; Malik and Allali, 200; Chen and Ho, 1996; Chen and Ho, 1999 Yeh et al., 2006; Yalcin et al., 2009; Jang et al., 2001; Arikoglu and Ozkol, 2010), have been published due to promising highly accurate or exact results in a short time.

The last method presented in this study is the finite difference method (FDM), which is the oldest -but still very useful- numerical method for the solution of differential equations. In this technique, differential equations and boundary conditions are stated as finite differences at a set of interconnected nodes within the computational domain. Similar to DQM, governing differential equations are expressed by a set of simultaneous algebraic equations, so the solution can be calculated easily by the computers.

The objective of this study is to present a benchmark between the concerned method used in the determination of dynamic characteristics of structural elements before solving more

complicated engineering problems and share the algorithm schemes of these methods.

The study is organized as follows. In section 2, the governing differential equations for beam and plate elements with no shear stress assumption are expressed. In Section 3, numerical methods used in the modal analysis with the algorithms and discretized differential equations up to the concerning methods are given. In section 4, mode shapes and non-dimensional natural frequencies of the structural elements are presented. Ultimately, the effect of boundary conditions, aspect ratio on the frequencies are investigated, and methods are compared with each other in the aspect of error and computation time.

2. Governing Differential Equations

In this section, the governing differential equations and boundary conditions for classical beam and plate theory are given in a non-dimensional form. Under these theories, it is assumed that beam and plate have no shear strains, are made of homogenous material, and have plane symmetry after deformation.

2.1. Euler-Bernoulli Beam

In one dimensional case, the Euler-Bernoulli beam model is preferred due to being the simplest beam model in the literature and giving reasonable results to demonstrate one-dimensional application. The mathematical model of the beam for free vibration can be given as.

$$\rho A \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} = 0 \quad (1)$$

In a non-dimensional form, the governing differential equation of the Euler-Bernoulli beam with uniform cross-section and length L can be obtained by separating Equation (1) into two ODEs and given for free harmonic vibration as

$$\frac{d^4 w(x)}{dx^4} - \Omega^2 w(x) = 0 \quad (2)$$

where x is the non-dimensional coordinate along the axis of the beam, $w(x)$ is non-dimensional deflection, and Ω is the non-dimensional frequency of vibration. The boundary conditions (BCs) at the edges of the beam may be one of the following; clamped (C), simply-supported (S), and free (F). These conditions in non-dimensional coordinates for the edges $x = 0$, and $x = 1$ can be given as

Table 1. Boundary conditions at the edges of the beam

BCs	Edges	Boundary Equations
Clamped	$x = 0, 1$	$w = 0, \frac{dw}{dx} = 0$
Simply-supported	$x = 0, 1$	$w = 0, \frac{d^2 w}{dx^2} = 0$
Free	$x = 0, 1$	$\frac{d^2 w}{dx^2} = 0, \frac{d^3 w}{dx^3} = 0$

2.2. Kirchoff-Love Plate

In two dimensional case, the simplest plate model is Kirchoff-Love or classical plate theory. The mathematical model of the thin rectangular plate for free vibration can be given as

$$\rho h \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} + D \nabla^4 w(x, y, t) = 0 \quad (3)$$

The governing differential equation of the plate in Equation (3) can be obtained by using the separation of variables method in a nondimensional form, and it can be given as

$$\frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + 2\lambda^2 \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + \lambda^4 \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} - \Omega^2 w = 0 \quad (4)$$

where x and y are the non-dimensional coordinates, $w(x,y)$ is nondimensional deflection, $\lambda = a/b$ is the length ratio, and Ω is the non-dimensional frequency of vibration. In nondimensional coordinates, the boundary conditions at the edges of the plate are presented as

Table 2. Boundary conditions at the edges of the plate

BCs	Edges	Boundary Equations
Clamped	$x=0,1$	$w = 0, \frac{\partial w}{\partial x} = 0$
	$y=0,1$	$w = 0, \frac{\partial w}{\partial y} = 0$
Simply-supported	$x=0,1$	$w = 0, \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0$
	$y=0,1$	$w = 0, \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0$
Free	$x=0,1$	$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \lambda^2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0,$ $\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \nu) \lambda^2 \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} = 0$
	$y=0,1$	$\lambda^2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0,$ $\lambda^2 \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} = 0$

3. Numerical Approaches

In this part of the study, concerned numerical methods are briefly discussed, and numerical solutions of beam and plate elements are given.

3.1. Differential Quadrature Method

In the differential quadrature method, values of approximate derivatives at any location of mesh are computed by summing linear weighted coefficients as follows

$$\left. \frac{\partial^n w(x, y)}{\partial x^n} \right|_{\substack{x=x_i \\ y=y_j}} = \sum_{k=1}^{N_x} A_{ik}^{(n)} w(x_k, y_j) \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial^m w(x, y)}{\partial y^m} \right|_{\substack{x=x_i \\ y=y_j}} = \sum_{l=1}^{N_y} B_{jl}^{(m)} w(x_i, y_l) \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial^{n+m} w(x, y)}{\partial x^n \partial y^m} \right|_{\substack{x=x_i \\ y=y_j}} = \sum_{k=1}^{N_x} A_{ik}^{(n)} \sum_{l=1}^{N_y} B_{jl}^{(m)} w(x_k, y_l) \quad (7)$$

where first-order weighted coefficients are computed by Shu's approach (Shu, 2000) as

$$A_{ik}^{(1)} = \begin{cases} \frac{\prod_{h=1, h \neq i}^{N_x} (x_i - x_h)}{(x_i - x_k) \prod_{h=1, h \neq k}^{N_x} (x_k - x_h)}, & i \neq k \\ - \sum_{k=1, k \neq i}^{N_x} A_{ik}^{(n)}, & i = k \end{cases} \quad (8)$$

$$B_{jl}^{(1)} = \begin{cases} \frac{\prod_{h=1, h \neq j}^{N_y} (y_j - y_h)}{(y_j - y_l) \prod_{h=1, h \neq l}^{N_y} (y_l - y_h)}, & j \neq l \\ - \sum_{l=1, l \neq j}^{N_y} B_{jl}^{(n)}, & j = l \end{cases} \quad (9)$$

To find the weighted coefficients of the higher-order or hybrid derivatives, the following matrix multiplications can be done

$$A^{(a)} = A^{(b)} A^{(c)}, \quad a = b + c, \quad b, c \in Z^+ \quad (10)$$

$$B^{(d)} = B^{(e)} B^{(f)}, \quad d = e + f, \quad e, f \in Z^+ \quad (11)$$

$$C^{(g)} = A^{(h)} B^{(i)}, \quad g = h + i, \quad h, i \in Z^+ \quad (12)$$

To obtain better results, the grid spacing of mesh can be done denser on boundaries by using Chebyshev-Gauss-Lobatto (CGL) grid distribution.

3.1.1. Application of DQM to Beam Element

As known, the DQM is a numerical computation technique based on discretization. Therefore, the equation of motion (EOM) can be discretized by using uniform or nonuniform (CGL) grid distribution. In this way, the continuous expression in Equation (2) turns into a combination of approximated functional values at grid points given in Equation (13).

$$w^{(4)}(x_i) - \Omega^2 w(x_i) = 0 \quad (13)$$

Using the differential quadrature method, the discretized EOM can be written as

$$w^{(4)}(x_i) - \Omega^2 w(x_i) = 0 \tag{14}$$

In matrix form, discretized expression can be rewritten as

$$\left[c_{ij}^{(4)} - \Omega^2 I \right]_{N \times N} \left[w(x_j) \right]_{N \times 1} = 0 \tag{15}$$

The discretized boundary conditions of the beam at the edges are presented in Table 3. To implement the boundary conditions on the discretized EOM, the direct substitution of boundary conditions into the discrete governing equation in Equation (15)

Table 3. Discretized BCs at the edges of the beam

BCs		Boundary Equations
C	$i=1$	$w_1 = 0, \sum_{j=1}^N c_{1j}^{(1)} \cdot w(x_j) = 0$
	$i=N$	$w_N = 0, \sum_{j=1}^N c_{Nj}^{(1)} \cdot w(x_j) = 0$
S	$i=1$	$w_1 = 0, \sum_{j=1}^N c_{1j}^{(2)} \cdot w(x_j) = 0$
	$i=N$	$w_N = 0, \sum_{j=1}^N c_{Nj}^{(2)} \cdot w(x_j) = 0$
F	$i=1$	$\sum_{j=1}^N c_{1j}^{(2)} \cdot w(x_j) = 0, \sum_{j=1}^N c_{1j}^{(3)} \cdot w(x_j) = 0$
	$i=N$	$\sum_{j=1}^N c_{Nj}^{(2)} \cdot w(x_j) = 0, \sum_{j=1}^N c_{Nj}^{(3)} \cdot w(x_j) = 0$

3.1.2. Application of DQM to Plate Element

To illustrate the two-dimensional application of DQM, free vibration analysis of the thin rectangular plate under Kirchhoff's assumptions is considered. Differently from the one-dimensional case, there are used two different weighted coefficients to the directions, because of different sizes and directions of grid distributions. These coefficients can be expressed as

$$\left. \frac{\partial^r w}{\partial x^r} \right|_{x=x_i} = \sum_{k=1}^N A_{ik}^{(r)} w_{kj}, \quad \left. \frac{\partial^s w}{\partial y^s} \right|_{y=y_j} = \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(s)} w_{il} \tag{16}$$

Using the differential quadrature method, the EOM in Equation (4) can be discretized as

$$\sum_{k=1}^N A_{ik}^{(4)} w_{kj} + 2\beta^2 \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(2)} \sum_{k=1}^N A_{ik}^{(2)} w_{kl} + \dots \tag{17}$$

$$\beta^4 \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(4)} w_{il} = \Omega^2 w_{ij}$$

The discretized boundary conditions of the plate at the edges are presented in Table 4.

Table 4. Discretized BCs at the edges of the plate

BCs	Boundary Equations
C	$w_{1,j} = \sum_{k=1}^N A_{1,k}^{(1)} w_{k,j} = 0, w_{N,j} = \sum_{k=1}^N A_{N,k}^{(1)} w_{k,j} = 0$
	$w_{i,1} = \sum_{k=1}^N B_{1,k}^{(1)} w_{i,k} = 0, w_{i,M} = \sum_{k=1}^N B_{M,k}^{(1)} w_{i,k} = 0$
S	$w_{1,j} = \sum_{k=1}^N A_{1,k}^{(2)} w_{k,j} = 0, w_{N,j} = \sum_{k=1}^N A_{N,k}^{(2)} w_{k,j} = 0$
	$w_{i,1} = \sum_{k=1}^N B_{1,k}^{(2)} w_{i,k} = 0, w_{i,M} = \sum_{k=1}^N B_{M,k}^{(2)} w_{i,k} = 0$
F	$\sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{kj} + \nu \lambda^2 \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(2)} \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{kl} = 0,$ $\sum_{k=1}^N A_{1k}^{(3)} w_{kj} + (2-\nu) \lambda^2 \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(2)} \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(1)} w_{kl} = 0$
	$\sum_{k=1}^N A_{N,k}^{(2)} w_{k,j} + \nu \lambda^2 \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{k1} = 0,$ $\sum_{k=1}^N A_{N,k}^{(3)} w_{k,j} + (2-\nu) \lambda^2 \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(2)} \sum_{k=1}^N A_{Nk}^{(1)} w_{kl} = 0$
	$\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{1k}^{(2)} w_{ik} + \nu \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{k1} = 0,$ $\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{1k}^{(3)} w_{ik} + (2-\nu) \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(1)} \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{kl} = 0$
	$\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{M,k}^{(2)} w_{i,k} + \nu \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{k1} = 0,$ $\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{M,k}^{(3)} w_{i,k} + (2-\nu) \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(1)} \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{kl} = 0$
	$\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{1k}^{(2)} w_{ik} + \nu \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{k1} = 0,$ $\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{1k}^{(3)} w_{ik} + (2-\nu) \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(1)} \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{kl} = 0$
	$\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{M,k}^{(2)} w_{i,k} + \nu \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{k1} = 0,$ $\lambda^2 \sum_{k=1}^N B_{M,k}^{(3)} w_{i,k} + (2-\nu) \sum_{l=1}^M B_{jl}^{(1)} \sum_{k=1}^N A_{1k}^{(2)} w_{kl} = 0$

3.2. Differential Transform Method

In the differential transform method (DTM), the k^{th} derivative of function $w(x)$ is defined as

$$W(k) = \frac{1}{k!} \left[\frac{d^k w(x)}{dx^k} \right]_{x=x_0} \tag{18}$$

where $W(k)$ is the transformed function of $w(x)$. Also, the inverse differential transform of the $W(k)$ function is defined as

$$w(x) = \sum_{k=0}^{\infty} (x-x_0)^k W(k) \tag{19}$$

According to definitions given above, any function can be written as Taylor series expansion

$$w(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x-x_0)^k}{k!} \left[\frac{d^k w(x)}{dx^k} \right]_{x=x_0} \quad (20)$$

From these definitions, fundamental theorems of DTM can be proved, which are given in Table 5. The algorithm flowchart of DTM is given in Figure 2.

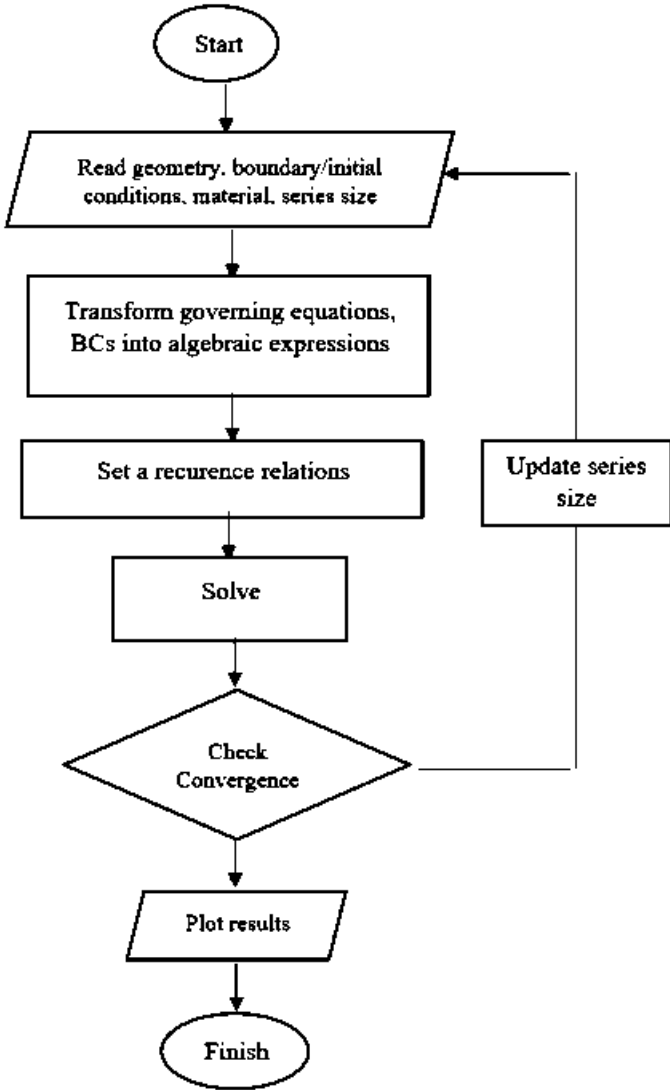


Figure 2. DTM algorithm's flowchart

Table 6. Fundamental Operations (Hatami,2017)

Original Function	Transformed Function
$f(x) = g(x) \pm h(x)$	$F(k) = G(k) \pm H(k)$
$f(x) = c g(x)$	$F(k) = c G(k)$
$f(x) = x^n$	$F(k) = \delta(k-n) = \begin{cases} 1, & k = n \\ 0, & k \neq n \end{cases}$
$f(x) = \sin(ax+b)$	$F(k) = \frac{a^k}{k!} \sin\left(\frac{\pi}{2}k+b\right)$
$f(x) = \frac{d^n g(x)}{dx^n}$	$F(k) = \frac{(k+n)!}{k!} G(k)$
$f(x) = g(x)h(x)$	$F(k) = \sum_{l=0}^k G(l)H(k-l)$

3.2.1. Application of DTM to Beam Element

Using the transform rules given in Table 6, the equation of motion in Equation (2) can be transformed into the following recurrence relation,

$$W(k+4) = \frac{\Omega^2}{(k+4)(k+3)(k+2)(k+1)} W(k) \quad (21)$$

The boundary conditions are transformed into algebraic equations about a point $x_0 = 0$ by using definitions of transformation technique in Equations (18) and (19), and presented in Table 7.

Table 7. Transformed BCs for the beam

BCs	$x = 0$	$x = 1$
C	$W(0) = 0,$ $W(1) = 0$	$\sum_{k=0}^N W(k) = 0,$ $\sum_{k=0}^N kW(k) = 0$
S	$W(0) = 0,$ $W(2) = 0$	$\sum_{k=0}^N W(k) = 0,$ $\sum_{k=0}^N k(k-1)W(k) = 0$
F	$W(2) = 0,$ $W(3) = 0$	$\sum_{k=0}^N k(k-1)W(k) = 0,$ $\sum_{k=0}^N k(k-1)(k-2)W(k) = 0$

By substituting algebraic equations defined for boundary conditions into recurrence relation given in Equation (21), the solution can be found.

3.2.2. Application of DTM to Plate Element

Due to difficulties in obtaining simplified recurrence relations between boundary conditions and governing differential equations, the equation of motion (EOM) in Equation (4) is reduced to one-dimensional expression for simply-supported boundaries at both ends of the plate as following [16]

$$\frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - 2\varphi \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \psi w(y) = 0 \quad (22)$$

where $\varphi = \left(\frac{\sigma\pi}{\lambda}\right)^2$, $\psi = \frac{\Omega^2}{\lambda^4} - \left(\frac{\sigma\pi}{\lambda}\right)^4$

For the reduced governing equation, the boundary conditions of the plate are given in Table 8. According to these BCs, the solution is found by using DTM.

Table 8. BCs for the plate along $y=0$, and $y=1$ sides [16]

BCs	Boundary Equations
Clamped	$w(y) = 0, \frac{dw(y)}{dy} = 0$
Simply-supported	$w(y) = 0, \frac{d^2 w(y)}{dy^2} = 0$
Free	$\frac{d^2 w(y)}{dy^2} - \alpha w(y) = 0, \alpha = \nu \left(\frac{\sigma\pi}{\lambda} \right)^2$ $\frac{d^3 w(y)}{dy^3} - \beta \frac{dw(y)}{dy} = 0, \beta = (2 - \nu) \left(\frac{\sigma\pi}{\lambda} \right)^2$

Using the transformation rules given in Table 6, the equation of motion in Equation (22) can be transformed into the following equation,

$$\frac{(h+4)!}{h!} W(h+4) - \frac{2\phi(h+2)!}{h!} W(h+2) - \psi W(h) = 0 \quad (22)$$

The boundary conditions are transformed into algebraic equations about a point y_0 by using definitions of a transformation technique, which are presented in Table 9.

Table 9. Transformed BCs for the plate [16]

BC	$y = 0$	$y = 1$
C	$W(0) = 0, W(1) = 0$	$\sum_{h=0}^M W = 0, \sum_{h=0}^M hW = 0$
S	$W(0) = 0, W(2) = 0$	$\sum_{h=0}^M W = 0, \sum_{h=0}^M h(h-1)W = 0$
F	$2W(2) - \alpha W(0) = 0$ $6W(3) - \beta W(1) = 0$	$\sum_{h=0}^M \{h(h-1) - \alpha\} W = 0$ $\sum_{h=0}^M \{h(h-1)(h-2) - \beta\} W = 0$

In a similar way to the solution of the beam, the solution can be found for S-F, C-C, C-S, S-S, C-F, and F-F boundary conditions along y sides. To simplify the EOM of the plate, the boundaries along x sides are assumed as simply-supported boundaries so that the partial differential equation of EOM in Equation (4) can be reduced to the ordinary differential equation.

3.3. Finite Difference Method

Stating approximate derivatives by the means of finite differences is the key point of the finite difference method (FDM), which is given for one-dimensional case as follow

$$\left(\frac{dw}{dx} \right)_i = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{w_{i+1} - w_i}{\Delta x} \approx \frac{w(x_i + \Delta x) - w(x_i)}{\Delta x} = \frac{\Delta w_i}{h} \quad (23)$$

$$\left(\frac{dw}{dx} \right)_i = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{w_i - w_{i-1}}{\Delta x} \approx \frac{w(x_i) - w(x_i - \Delta x)}{\Delta x} = \frac{\nabla w_i}{h} \quad (24)$$

$$\left(\frac{dw}{dx} \right)_i = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{w_{i+1} - w_{i-1}}{2\Delta x} \approx \frac{w(x_i + \Delta x) - w(x_i - \Delta x)}{2\Delta x} \quad (25)$$

where forward, backward, and central differences are given, respectively. i denotes any arbitrary point on the curve, Δ forward difference operator, and ∇ backward difference operator. Of them, the central difference gives a more accurate approximation of derivatives due to grid points symmetrically distributed around the x_i . Therefore, structural elements are solved by using central difference and the following algorithm in Figure 3.

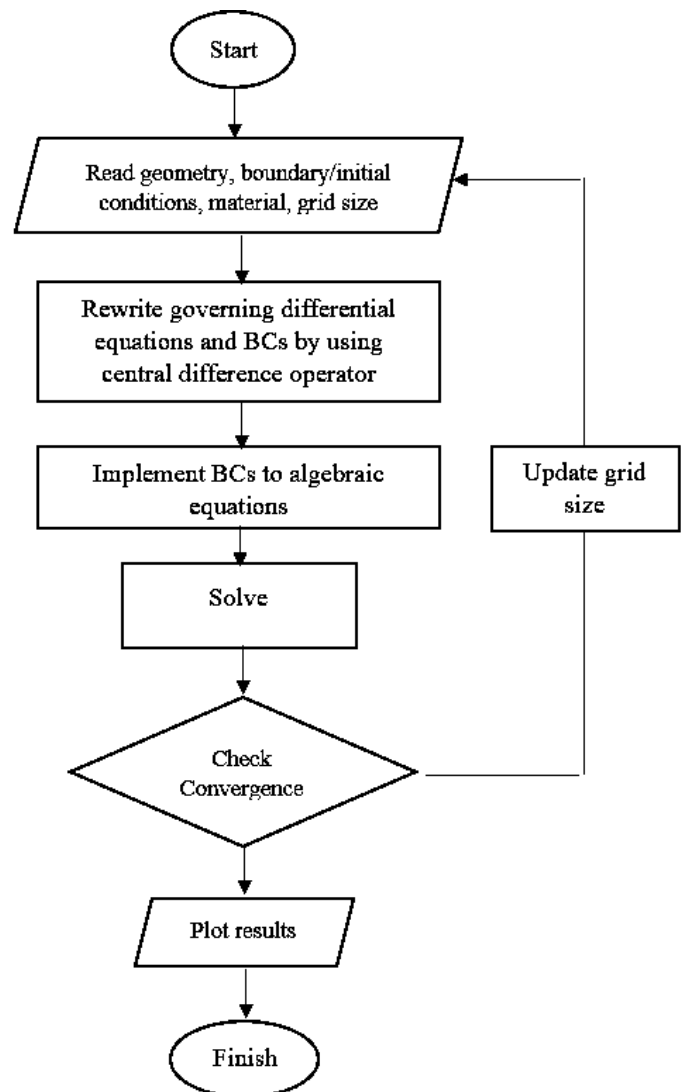


Figure 3. FDM algorithm's flowchart

3.3.1. Application of FDM to Beam Element

Using the finite difference method, the discretized EOM for the beam can be written as

$$\frac{w_{i+2} - 4w_{i+1} + 6w_i - 4w_{i-1} + w_{i-2}}{(\Delta x)^4} - \Omega^2 w_i = 0 \quad (26)$$

Similarly, the boundary conditions are written via central difference, and implement into Equation (26) by updating stencil points.

3.3.1. Application of FDM to Plate Element

The discretized EOM of the thin isotropic rectangular plate for transverse vibration is expressed as follows

$$\begin{aligned} &\frac{w_{i+2,j} - 4w_{i+1,j} + 6w_{i,j} - 4w_{i-1,j} + w_{i-2,j}}{(\Delta x)^4} + \dots \\ &2\lambda^2 \frac{w_{i+1,j+1} - 2w_{i,j+1} + w_{i-1,j+1} - 2w_{i+1,j-1} + \dots}{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2} + \dots \\ &2\lambda^2 \frac{4w_{i,j} - 2w_{i-1,j} + w_{i-1,j-1} - 2w_{i,j-1} + w_{i-1,j-1} + \dots}{(\Delta x)^2 (\Delta y)^2} + \dots \\ &\lambda^4 \frac{w_{i,j+2} - 4w_{i,j+1} + 6w_{i,j} - 4w_{i,j-1} + w_{i,j-2}}{(\Delta y)^4} - \Omega^2 w_{i,j} = 0 \end{aligned} \quad (27)$$

Similarly, the boundary conditions are written via central difference, and implement into Equation (26) by updating algebraic equations in the matrix form.

4. Results and Discussion

To determine the dynamic characteristics of one and two-dimensional structural elements, mesh-free methods i.e. DQM and DTM, and meshed method i.e. FDM are employed, and then numerical solutions are compared for different boundary conditions, aspect ratios, term sizes used in computations, and absolute errors in this study. Meanwhile, short formulations of the methods and governing differential equations are given, and algorithm schemes of the employed methods are presented in Figures 1-3. Furthermore, convergence analysis in Figure 4 is given for different methods to understand which method is more efficient for computer memory usage, faster, and so on. Ultimately, non-dimensional natural frequencies of the beam and plate elements are tabulated, and the mode shapes are plotted in Figures 5-6.

In the last few years, DQM and DTM are two of the popular mesh-free methods attracting the interest of many researchers. On the other hand, FDM is one of the oldest but still useful global methods. In all methods, the governing differential equations of structural elements are transformed into algebraic equations, and then written in matrix format. Discretized boundary conditions according to concerning methods' algorithm are implemented to the system matrix by updating the rows. The difference between them is the approximation methodology to derivative terms. In Table 10, the non-dimensional natural frequencies of the beam are presented. According to this table, DTM gives the closest solution to analytical results in [26], so the absolute error of DTM is smaller than other two methods. According to boundaries at the ends of the beam, the highest non-dimensional natural frequencies are seen C-C and F-F boundaries, which are equal to each other, but mode shapes of them are different as seen in Figure 5. In two

dimensional case, the effect of aspect ratio and boundary conditions are investigated. Up to the increasing aspect ratio in Table 11, the non-dimensional natural frequencies increase. Similarly, the smallest absolute error is seen for the solution realized by DTM for the special case mentioned above. Finally, convergence analysis in high mode is realized to understand which method is faster and needs less memory requirement. To results in Figure 6, DTM is the fastest method.

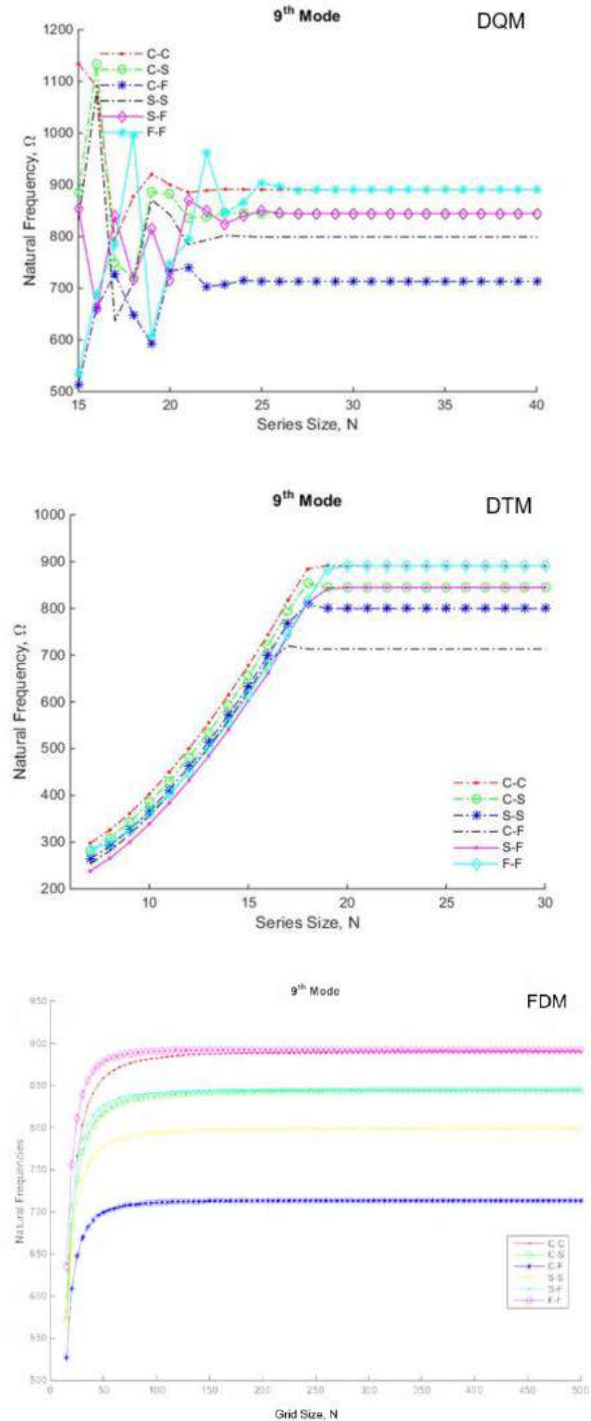


Figure 4. Convergence analysis of the non-dimensional natural frequencies of various beam elements for the 9th mode.

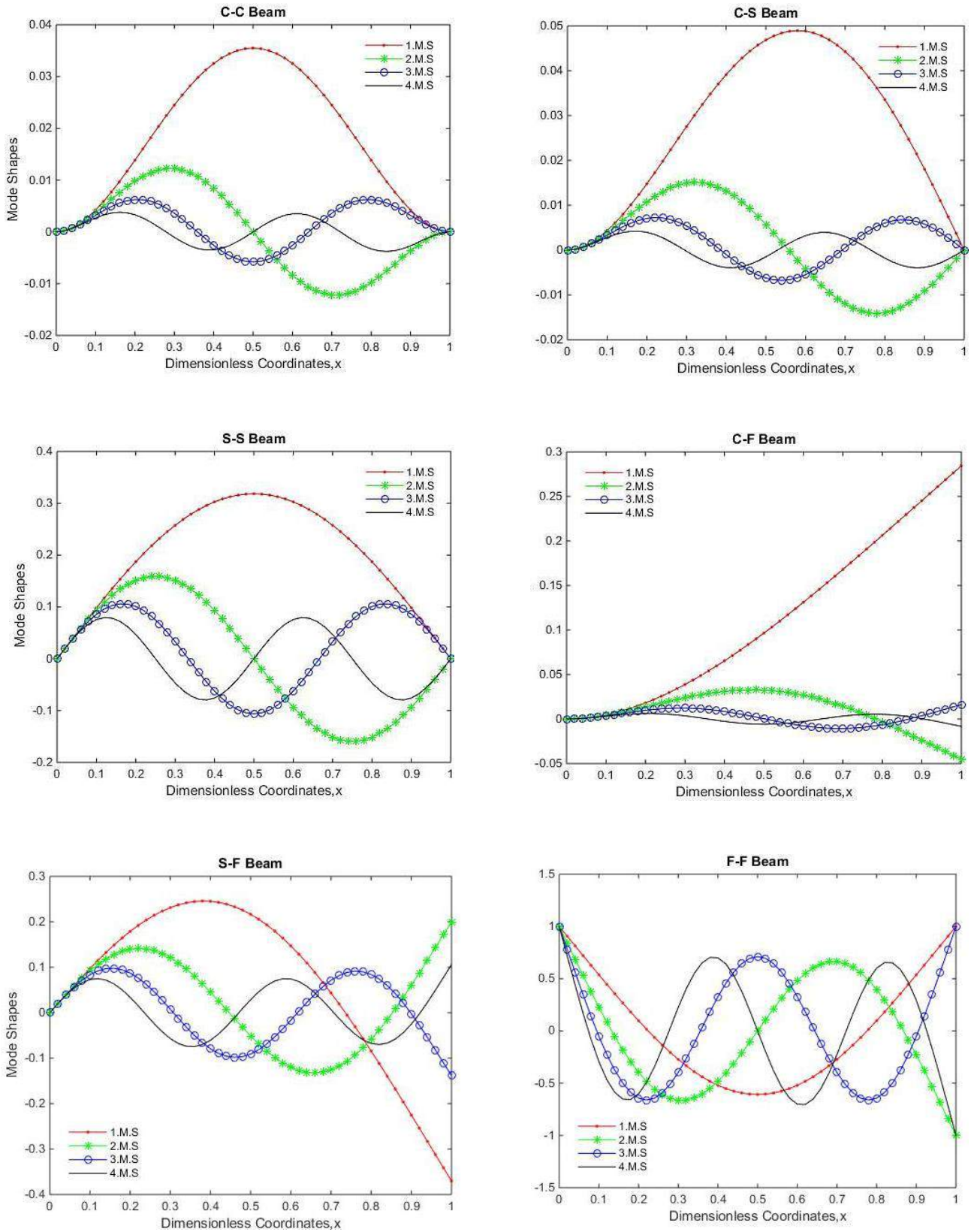


Figure 5. Mode shapes of the beam elements for different boundary conditions

Table 10. Nondimensional natural frequencies of the beam elements for different boundary cases

Boundary Conditions	Clamped-Clamped					Simply Supported-Simply Supported				
	Blevins	DQM (Uniform)	DQM (CGL)	FDM	DTM	Blevins	DQM (Uniform)	DQM (CGL)	FDM	DTM
Mode										
1 st	22,3733	22,3733	22,3733	22,3732	22,3733	9,8696	9,8696	9,8696	9,8696	9,8696
2 nd	61,6728	61,6728	61,6728	61,6723	61,6728	39,4784	39,4784	39,4784	39,4783	39,4784
3 rd	120,9034	120,9034	120,9034	120,9015	120,9034	88,8264	88,8264	88,8264	88,8258	88,8264
4 th	199,8594	199,8607	199,8594	199,8547	199,8594	157,9137	157,9141	157,9137	157,9116	157,9137
5 th	298,5555	298,3357	298,5555	298,5455	298,5555	246,7401	246,6215	246,7399	246,7350	246,7401
6 th	416,9908	413,7238	416,9894	416,9720	416,9908	355,3058	353,2592	355,3022	355,2952	355,3058
7 th	555,1652	557,6415	555,1977	555,1330	555,1652	483,6106	491,1128	483,7155	483,5911	483,6106
8 th	713,0789	557,6415	713,3467	713,0269	713,0791	631,6547	491,1128	632,5268	631,6214	631,6546
9 th	890,7318	628,9425	889,0825	890,6522	890,7296	799,4380	560,2755	793,1577	799,3846	799,4388
10 th	1088,1239	628,9425	1077,2822	1088,0070	1088,0228	986,9604	560,2755	955,8531	986,8791	986,9305

Boundary Conditions	Clamped-Simply Supported					Clamped-Free				
	Blevins	DQM (Uniform)	DQM (CGL)	FDM	DTM	Blevins	DQM (Uniform)	DQM (CGL)	FDM	DTM
Mode										
1 st	15,4182	15,4180	15,4182	15,4182	15,4182	3,5160	3,5158	3,5160	3,5172	3,5160
2 nd	49,9648	49,9649	49,9649	49,9646	49,9649	22,0345	22,0345	22,0345	22,0418	22,0345
3 rd	104,2477	104,2477	104,2477	104,2465	104,2477	61,6972	61,6972	61,6972	61,7174	61,6972
4 th	178,2697	178,2699	178,2697	178,2665	178,2697	120,9019	120,9016	120,9019	120,9409	120,9019
5 th	272,0310	271,8292	272,0307	272,0237	272,0310	199,8595	199,8459	199,8594	199,9226	199,8595
6 th	385,5314	383,7956	385,5299	385,5171	385,5314	298,5555	300,0946	298,5655	298,6472	298,5555
7 th	518,7711	516,2124	518,8931	518,7456	518,7711	416,9908	429,3601	417,1064	417,1145	416,9908
8 th	671,7499	516,2124	672,2265	671,7079	671,7499	555,1652	429,3601	553,1932	555,3233	555,1652
9 th	844,4680	603,9060	837,7557	844,4023	844,4714	713,0789	591,1642	702,9631	713,2723	713,0796
10 th	1036,9253	603,9060	1018,5084	1036,8272	1036,7831	890,7318	591,1642	933,4812	890,9598	890,7162

Boundary Conditions	Simply Supported-Free					Free-Free				
	Blevins	DQM (Uniform)	DQM (CGL)	FDM	DTM	Blevins	DQM (Uniform)	DQM (CGL)	FDM	DTM
Mode										
1 st	15,4182	15,4182	15,4182	15,4233	15,4182	22,3733	22,3733	22,3733	22,3882	22,3733
2 nd	49,9649	49,9649	49,9649	49,9814	49,9649	61,6728	61,6776	61,6728	61,7138	61,6728
3 rd	104,2477	104,2476	104,2477	104,2817	104,2477	120,9034	120,9028	120,9034	120,9833	120,9034
4 th	178,2697	178,2605	178,2697	178,3269	178,2697	199,8594	199,8309	199,8592	199,9903	199,8594
5 th	272,0310	272,3689	272,0339	272,1162	272,0310	298,5555	302,1213	298,5756	298,7489	298,5555
6 th	385,5314	411,3388	385,6189	385,6487	385,5314	416,9908	427,4586	417,2233	417,2570	416,9908
7 th	518,7711	411,3388	518,1270	518,9234	518,7711	555,1652	440,5495	551,3529	555,5138	555,1653
8 th	671,7499	529,8806	663,0258	671,9389	671,7499	713,0789	440,5495	692,6267	713,5178	713,0791
9 th	844,4680	529,8806	849,2064	844,6937	844,4697	890,7318	593,5509	962,1214	891,2676	890,7264
10 th	1036,9253	626,7816	1039,1441	1037,1862	1036,9181	1088,1239	593,5509	962,1214	1088,7614	1086,1715

Table 11. Nondimensional natural frequencies of the plate elements for different boundary cases and aspect ratios

Boundary Conditions		S-S-S-S					S-C-S-C					S-C-S-S				
		a/b					a/b					a/b				
		2/5	2/3	1.0	3/2	5/2	2/5	2/3	1.0	3/2	5/2	2/5	2/3	1.0	3/2	5/2
Aspect Ratio	Mode															
1 st	Leissa	11,4487	14,2561	19,7392	32,0762	71,5564	12,1347	17,3730	28,9509	56,3481	145,4839	11,7502	15,5783	23,6463	42,5278	103,9227
	DQM	11,4487	14,2561	19,7392	32,0762	71,5546	12,1347	17,3730	28,9509	56,3481	145,4839	11,7502	15,5783	23,6463	42,5278	103,9227
	FDM	11,4426	14,2484	19,7285	32,0589	71,5159	12,1347	17,3730	28,9509	56,3481	145,4839	11,7502	15,5783	23,6463	42,5278	103,9227
	DTM	11,4487	14,2561	19,7392	32,0762	71,5546	12,1347	17,3730	28,9509	56,3481	145,4839	11,7502	15,5783	23,6463	42,5278	103,9227
2 nd	Leissa	16,1862	27,4156	49,3480	61,6850	101,1634	18,3647	35,3445	54,7431	78,9836	164,7387	17,1872	31,0724	51,6743	69,0031	128,3382
	DQM	16,1862	27,4156	49,3480	61,6850	101,1634	18,3647	35,3445	54,7431	78,9836	164,7387	17,1872	31,0724	51,6743	69,0031	128,3382
	FDM	16,1672	27,3723	49,2574	61,5877	101,0448	18,3647	35,3445	54,7431	78,9836	164,7387	17,1872	31,0724	51,6743	69,0031	128,3382
	DTM	16,1862	27,4156	49,3480	61,6850	101,1634	18,3647	35,3445	54,7431	78,9836	164,7387	17,1872	31,0724	51,6743	69,0031	128,3382
3 rd	Leissa	24,0818	43,8649	49,3480	98,6960	150,5115	27,9657	45,4294	69,3270	123,1719	202,2271	25,9171	44,5644	58,6464	116,2671	172,3804
	DQM	24,0818	43,8649	49,3480	98,6960	150,5115	27,9657	45,4294	69,3270	123,1719	202,2271	25,9171	44,5644	58,6464	116,2671	172,3804
	FDM	24,0075	43,7772	49,2574	98,4987	150,0467	27,9657	45,4294	69,3270	123,1719	202,2271	25,9171	44,5644	58,6464	116,2671	172,3804
	DTM	24,0818	43,8649	49,3480	98,6960	150,5115	27,9657	45,4294	69,3270	123,1719	202,2271	25,9171	44,5644	58,6464	116,2671	172,3804
4 th	Leissa	35,1358	49,3480	78,9568	111,0330	219,5987	40,7500	62,0544	94,5853	146,2677	261,1053	37,8317	55,3926	86,1345	120,9956	237,2502
	DQM	35,1358	49,3480	78,9568	111,0330	219,5987	40,7500	62,0544	94,5853	146,2677	261,1052	37,8317	55,3926	86,1345	120,9956	237,2502
	FDM	34,9126	49,1509	78,7862	110,5896	218,2038	40,7500	62,0544	94,5853	146,2677	261,1053	37,8317	55,3926	86,1345	120,9956	237,2502
	DTM	35,1358	49,3480	78,9568	111,0330	219,5987	40,7500	62,0544	94,5853	146,2677	261,1053	37,8317	55,3926	86,1345	120,9956	237,2502
5 th	Leissa	41,0576	57,0244	98,6960	128,3049	256,6097	41,3782	62,3131	102,2162	170,1112	342,1442	41,2070	59,4627	100,2698	147,6353	320,7921
	DQM	41,0576	57,0244	98,6960	128,3049	256,6097	41,3782	62,3131	102,2162	170,1112	342,1470	41,2070	59,4627	100,2698	147,6353	320,7921
	FDM	40,9714	56,9011	98,2593	128,0276	256,0712	41,3782	62,3131	102,2162	170,1112	342,1456	41,2070	59,4627	100,2698	147,6353	320,7921
	DTM	41,0576	57,0244	98,6960	128,3049	256,6097	41,3782	62,3131	102,2162	170,1112	342,1442	41,2070	59,4627	100,2698	147,6353	320,7921
6 th	Leissa	45,7950	78,9568	98,6960	177,6529	286,2185	47,0009	88,8047	129,0955	189,1219	392,8746	46,3620	83,6060	113,2281	184,1006	322,9642
	DQM	45,7950	78,9568	98,6960	177,6529	286,2185	47,0009	88,8047	129,0955	189,1219	392,8746	46,3620	83,6060	113,2281	184,1006	322,9672
	FDM	45,6960	78,6798	98,2593	177,0295	285,6000	47,0009	88,8047	129,0955	189,1219	392,8746	46,3620	83,6060	113,2281	184,1006	322,9657
	DTM	45,7950	78,9568	98,6960	177,6529	286,2185	47,0009	88,8047	129,0955	189,1219	392,8746	46,3620	83,6060	113,2281	184,1006	322,9642
7 th	Leissa	49,3480	80,0535	128,3049	180,1203	308,4251	56,1782	94,2131	140,2045	212,8169	415,6906	52,9007	88,4384	133,7910	193,8025	346,7382
	DQM	49,3485	80,0534	128,3049	180,1203	308,4283	56,1782	94,2131	140,2045	212,8169	415,6906	52,9014	88,4384	133,7910	193,8025	346,7382
	FDM	48,8119	79,4430	127,7881	178,7467	305,0742	56,1782	94,2131	140,2045	212,8169	415,6906	52,9010	88,4384	133,7910	193,8025	346,7382
	DTM	49,3480	80,0535	128,3049	180,1203	308,4251	56,1782	94,2131	140,2045	212,8169	415,6906	52,9007	88,4384	133,7910	193,8025	346,7382
8 th	Leissa	53,6906	93,2129	128,3049	209,7291	335,5665	56,6756	97,4254	154,7757	276,0012	444,9682	54,8720	93,6758	140,8456	243,4964	391,0659
	DQM	53,6906	93,2129	128,3049	209,7291	335,5665	56,6758	97,4254	154,7757	276,0047	445,0107	54,8720	93,6758	140,8456	243,4964	391,0659
	FDM	53,5363	92,7791	127,7881	208,7530	334,6019	56,6757	97,4254	154,7757	276,0030	444,9894	54,8720	93,6758	140,8456	243,4964	391,0659
	DTM	53,6906	93,2129	128,3049	209,7291	335,5665	56,6756	97,4254	154,7757	276,0012	444,9682	54,8720	93,6758	140,8456	243,4964	391,0659

Table 11. Nondimensional natural frequencies of the plate elements for different boundary cases and aspect ratios (cont')

Boundary Conditions		S-C-S-F					S-S-S-F					S-F-S-F				
		a/b					a/b					a/b				
Aspect Ratio		2/5	2/3	1.0	3/2	5/2	2/5	2/3	1.0	3/2	5/2	2/5	2/3	1.0	3/2	5/2
1 st	Leissa	10,1888	10,9752	12,6874	16,8225	30,6277	10,1259	10,6712	11,6845	13,7111	18,8009	9,7600	9,6983	9,6314	9,5582	9,4841
	DQM	10,1485	10,9011	12,5569	16,6003	30,2740	10,0889	10,6083	11,5816	13,5359	18,4640	9,7280	9,6507	9,5676	9,4777	9,3879
	FDM	10,1686	10,9381	12,6221	16,7114	30,4508	9,7277	10,0728	11,8270	23,9206	63,5380	9,8829	9,9988	10,2012	10,4804	10,1883
	DTM	10,1888	10,9752	12,6874	16,8225	30,6277	10,1259	10,6712	11,6845	13,7111	18,8009	10,0378	10,3469	10,8348	11,4830	10,9887
2 nd	Leissa	13,6036	20,3355	33,0651	45,3024	58,0804	13,0570	18,2995	27,7563	43,5723	50,5405	11,0368	12,9813	16,1348	21,6192	33,6228
	DQM	13,5500	20,2229	32,8924	44,9543	57,3722	13,0087	18,1977	27,5917	43,2840	49,9897	10,9589	12,8314	15,8799	21,2000	32,8788
	FDM	13,5768	20,2792	32,9788	45,1284	57,7263	12,0663	17,0357	28,1930	56,2547	92,0352	10,7866	12,4334	15,2098	20,3168	32,6301
	DTM	13,6036	20,3355	33,0651	45,3024	58,0804	13,0570	18,2995	27,7563	43,5723	50,5405	10,6142	12,0355	14,5397	19,4336	32,3814
3 rd	Leissa	20,0971	37,9552	41,7019	61,0178	105,5470	18,8390	33,6974	41,1967	47,8571	100,2321	15,0626	22,9535	36,7256	38,7214	38,3629
	DQM	20,0296	37,8421	41,4952	60,7948	104,6398	18,7755	33,5854	41,0126	47,6284	99,4954	14,9557	22,7458	36,4173	38,5132	38,0701
	FDM	20,0634	37,8987	41,5986	60,9063	105,0934	17,4793	32,3386	41,6736	79,3076	124,4366	15,1461	23,1100	36,9313	40,1830	41,4213
	DTM	20,0971	37,9552	41,7019	61,0178	105,5470	18,8390	33,6974	41,1967	47,8571	100,2321	15,3365	23,4742	37,4453	41,8528	44,7725
4 th	Leissa	29,6219	40,2717	63,0148	92,3073	149,4569	27,5580	40,1307	59,0655	81,4789	110,2259	21,7064	39,1052	38,9450	54,8443	75,2037
	DQM	29,5515	40,1378	62,7128	91,7877	149,1969	27,4891	40,0055	58,7953	81,0037	109,9391	21,5778	38,9939	38,7925	54,1434	73,8562
	FDM	29,5867	40,2047	62,8638	92,0475	149,3269	26,0747	38,9956	59,8569	107,4724	132,8902	21,5319	39,4607	39,6754	52,2596	70,5994
	DTM	29,6219	40,2717	63,0148	92,3073	149,4569	27,5580	40,1307	59,0655	81,4789	110,2259	21,4860	39,9276	40,5583	50,3758	67,3425
5 th	Leissa	39,6382	49,7317	72,3976	93,8293	173,1060	39,3377	48,4082	61,8606	92,6925	147,6317	31,1771	40,3560	46,7381	65,7922	86,9684
	DQM	39,5521	49,5704	72,2579	93,3642	172,0157	39,2712	48,2611	61,7156	92,2784	146,8273	31,0433	40,1448	46,3264	65,3906	86,4624
	FDM	39,5952	49,6511	72,3278	93,5968	172,5608	37,7263	46,7280	62,8647	118,6069	174,0607	31,1908	40,0804	45,3157	65,9847	90,8630
	DTM	39,6382	49,7317	72,3976	93,8293	173,1060	39,3377	48,4082	61,8606	92,6925	147,6317	31,3384	40,0161	44,3050	66,5788	95,2636
6 th	Leissa	42,2425	64,1889	90,6114	141,7834	182,8110	39,6118	57,5929	90,2941	124,5635	169,1026	39,2387	42,6847	70,7401	87,6262	130,3576
	DQM	42,1763	64,0914	90,3100	141,1038	182,0009	39,5285	57,4931	90,0123	124,3978	168,1679	39,1623	42,4333	70,1583	87,2832	128,5459
	FDM	42,2094	64,1402	90,4607	141,4436	182,4059	38,5982	56,2897	91,2438	173,1190	207,0340	39,3938	41,9350	71,1953	89,2697	123,6711
	DTM	42,2425	64,1889	90,6114	141,7834	182,8110	39,6118	57,5929	90,2941	124,5635	169,1026	39,6252	41,4367	72,2323	91,2562	118,7962
7 th	Leissa	42,9993	67,8993	103,1617	149,6055	235,0155	42,6964	64,7281	94,4837	132,8974	203,7304	40,5035	54,2400	75,2834	103,9665	155,3211
	DQM	42,9233	67,6895	102,8104	149,4512	233,7042	42,6245	64,5319	94,1471	132,2895	202,5149	40,3561	53,9117	75,0180	103,0219	154,5960
	FDM	42,9613	67,7944	102,9860	149,5284	234,3599	41,5187	62,2175	95,9204	177,4279	240,7948	40,1528	54,4897	74,9561	101,3541	155,5274
	DTM	42,9993	67,8993	103,1617	149,6055	235,0155	42,6964	64,7281	94,4837	132,8974	203,7304	39,9495	55,0678	74,8941	99,6863	156,4589
8 th	Leissa	49,5740	89,3571	111,8964	162,2413	260,6371	48,7745	89,1859	108,9185	158,9180	257,4791	43,6698	66,2301	87,9867	105,1608	156,1248
	DQM	49,4798	89,1464	111,5334	161,6387	259,3490	48,6852	88,9607	108,5875	158,4272	256,3328	43,5425	66,0428	87,7363	104,2345	155,6431
	FDM	49,5269	89,2518	111,7149	161,9400	259,9930	46,8259	86,1713	110,1721	195,0900	283,7807	43,5460	66,2422	88,7866	105,2666	160,1529
	DTM	49,5740	89,3571	111,8964	162,2413	260,6371	48,7745	89,1859	108,9185	158,9180	257,4791	43,5495	66,4417	89,8370	106,2987	164,6628

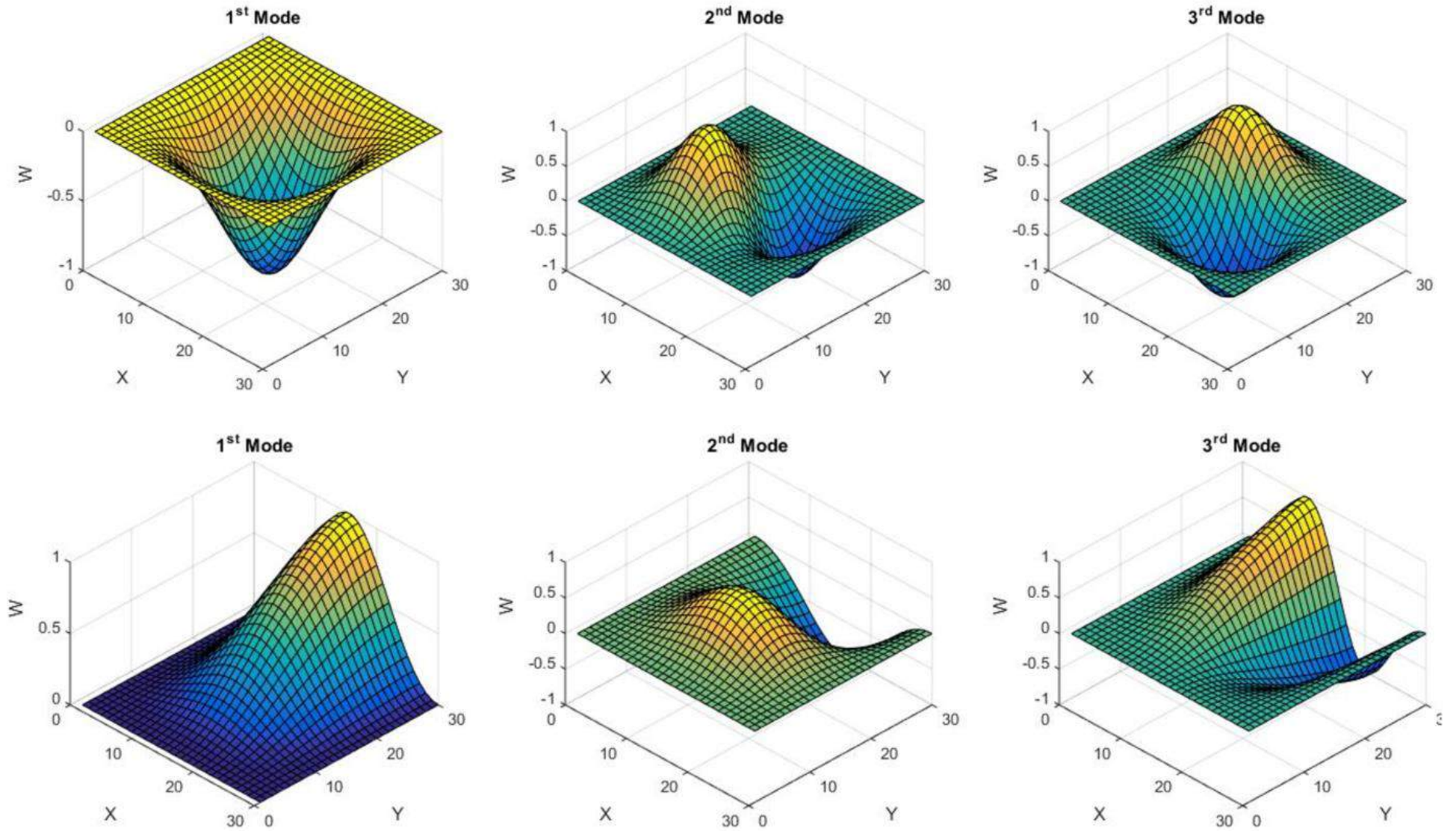


Figure 6. Mode shapes of the plate elements for SSSS and SSSF boundary conditions

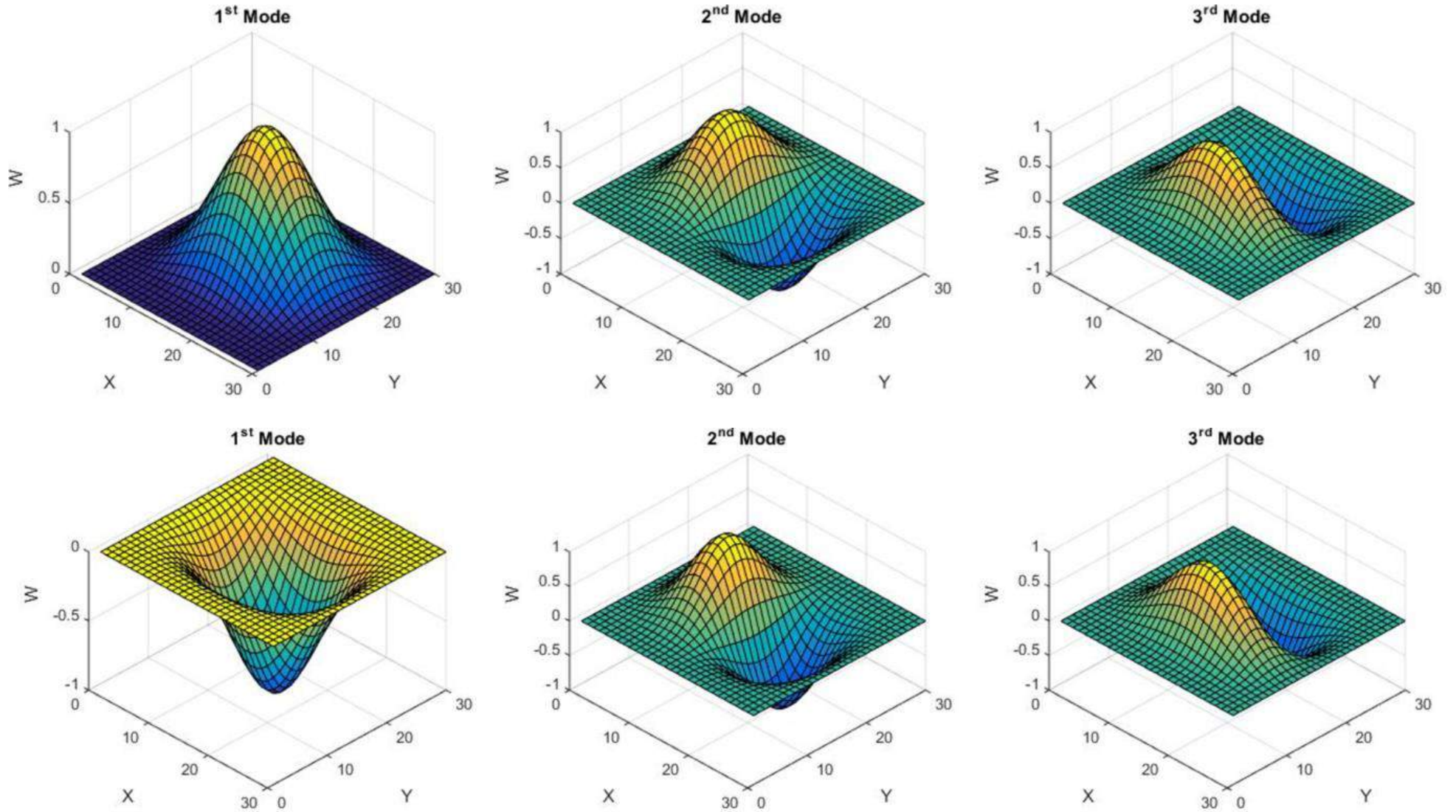


Figure 6. Mode shapes of the plate elements for SCSS and SCSC boundary conditions (cont ')

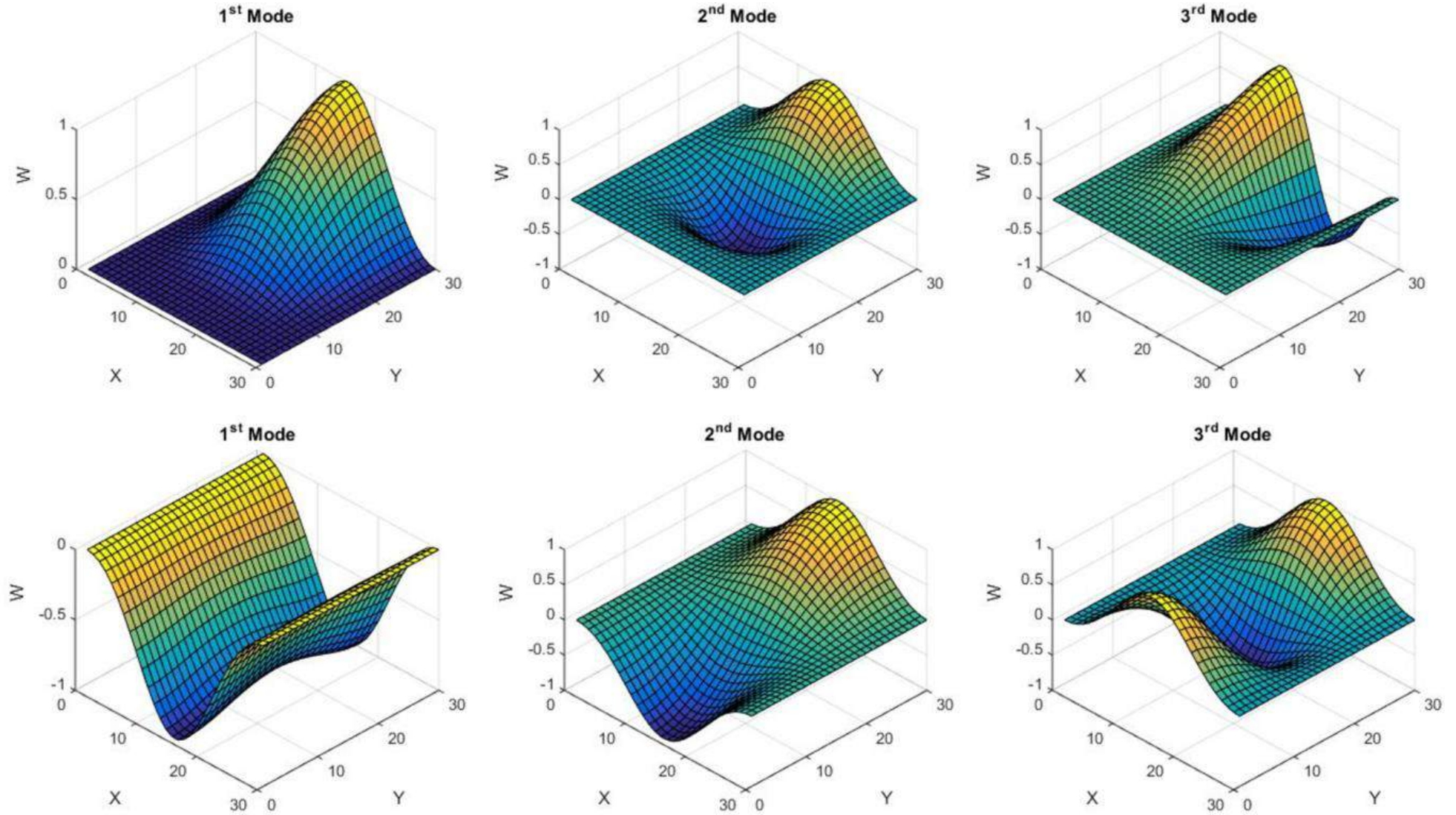


Figure 6. Mode shapes of the plate elements for SCSF and SFSF boundary conditions (cont ')

4. Conclusion

This paper has computed the dynamic characteristics of the Euler-Bernoulli beam and Kirchhoff-Love plate by employing different numerical methods. Of these methods, DTM converges to analytical results faster than the other two methods for simply-supported boundary conditions. Also, it can be seen from Tables 10 and 11 that absolute error is smaller than other methods. On the other hand, the term size of DQM is smaller than FDM (see Figure 4), so it converges faster than FDM. In other words, it is computationally more efficient due to its small term size and requires less computer memory than FDM. As a result, DTM can be preferred for any type of one-dimensional differential equation. On the other hand, DQM can be preferred for multi-dimensional engineering problems, complicated geometries.

5. Acknowledgements

The authors would like to thank Prof. Dr. Guven Komurgoz from the Department of Electrical Engineering in Istanbul Technical University for suggestions and discussions, and would also like to thank Res. Asst. Ahmet Gokay Ozturk from the Department of Aeronautical Engineering in Istanbul Technical University for endless help during the preparation of this study.

References

- Bellman, R., Kashef, B.G., Casti, J. (1972). Differential quadrature: a technique for the rapid solution of nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 10, 40-52.
- Civan, F., Sliepcevich, C.M. (1984). Differential Quadrature for Multidimensional Problems. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 101, 423-443.
- Wang, X., Bert, W. (1993). A new approach in Applying Differential Quadrature to Static and Free Vibrational Analyses of Beams and Plates. *Journals of Sound and Vibration*, 162, 566-572.
- Wang, X., Bert, C.W., Striz, A.G. (1993). Differential Quadrature Analysis of Deflection, Buckling, and Free Vibration of Beams and Rectangular Plates. *Computers and Structures*, 48, 473-479.
- Du, H., Lim, M. K., Lin, R. M. (1994). Application of Generalized Differential Quadrature Method to Structural Problems. *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, 37, 1881-1896.
- Du, H., Lim, M. K., Lin, R. M. (1995). Application of Differential Quadrature to Vibration Analysis. *Journal of Sound and Vibration*, 181, 279-293.
- Malik, M., Bert, C. W. (1996). Implementing Multiple Boundary Conditions in the DQ Solution of Higher Order PDEs: Application to Free Vibration of Plates. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 39, 1237-1258.
- Bert, C.W., Malik, M. (1996). Semianalytical Differential Quadrature Solution for Free Vibration Analysis of Rectangular Plates. *AIAA Journal*, 34(3), 601-606.
- Shu, C., Du, H. (1997). Implementation of Clamped and Simply Supported Boundary Conditions in The GDQ Free Vibration Analysis of Beams and Plates. *International Journal of Solid Structures*, 34(7), 819-835.
- Tornabene, F., Viola, E., Inman, D. J. (2009). 2-D differential quadrature solution for vibration analysis of functionally graded conical, cylindrical shell and annular plate structures. *Journal of Sound and Vibration*, 328 (3), 259-290.
- Arikoglu, A., Ozkol, I. (2012). Vibration Analysis of Composite Sandwich Plates by the Generalized Differential Quadrature Method. *AIAA Journal*, 50 (3), 620-630.
- Tornabene, F., Fantuzzi, N., Baccocchi, M., Dimitri, R. (2015). Free vibrations of composite oval and elliptic cylinders by the generalized differential quadrature method. *Thin Walled Structures*, 97, 114-129.
- Yavuz, M. T., Ozkol, I. (2021). Free Vibration Analysis of a Rotating Double Tapered Beam with Flexible Root via Differential Quadrature Method. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 93(5), 900-914.
- Zhou, J. K. (1986). Differential Transformation and Its Application for Electrical Circuits. *Huazhong University Press*, Wuhan, China.
- Malik, M., Dang, H. H. (1998). Vibration Analysis of Continuous Systems by Differential Transformation. *Applied Mathematics and Computation*, 96, 17-26.
- Malik, M., Allali, M. (2000). Characteristic Equations of Rectangular Plates by Differential Transformation. *Journal of Sound and Vibration*, 233(2), 359-366.
- Chen, C. K., Ho, S. H. (1996). Application of Differential Transformation Method to Eigenvalue Problems. *Applied Mathematics and Computation*, 79, 173-188.
- Chen, C. K., Ho, S. H. (1999). Solving Partial Differential Equations by Two Dimensional Differential Transform Method. *Applied Mathematics and Computation*, 106, 171-179.
- Yeh, Y. L., Jang, M. J., Wang, C. C. (2006). Analyzing the free vibrations of a plate using finite difference and differential Transformation Method. *Applied Mathematics and Computation*, 178, 493-501.
- Yalcin, S., Arikoglu, A., Ozkol, I. (2009). Free Vibration Analysis of Circular Plates by Differential Transformation Method. *Applied Mathematics and Computation*, 212, 377-386.
- Jang, M. J., Chen, C. L., Liu, Y. C. (2001). Two-dimensional Differential Transform for Partial Differential Equations. *Applied Mathematics and Computation*, 123, 109-122.
- Arikoglu, A., Ozkol, I. (2010). Vibration analysis of composite sandwich beams with viscoelastic core by using differential transform method. *Composite Structures*, 92 (12), 3031-2039.
- Shu, C. (2000). Differential Quadrature and Its Application in Engineering. *Springer*.
- Hatami, M., Ganji, D. D., Sheikholesmani, M. (2017). Differential Transformation Method for Mechanical Engineering Problems. *Academic Press*.
- Blevins, R. D. (2001). Formulas for natural frequency and mode shape. *Krieger Publishing*.
- Leissa, A.W. (1973). The Free Vibration of Rectangular Plates. *Journal of Sound and Vibration*, 31(3), 257-293.



Turkish Traffic Sign Recognition: Comparison of Training Step Numbers and Lighting Conditions

Kaan Kocakanat^{1*}, Tacha Serif¹

^{1*} Yeditepe University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Istanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-5906-7969, 0000-0003-1819-4926),
kaan.kocakanat@std.yeditepe.edu.tr, tserif@cse.yeditepe.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1015972)

ATIF/REFERENCE: Kocakanat, K. & Serif, T. (2021). Turkish Traffic Sign Recognition: Comparison of Training Step Numbers and Lighting Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1469-1475.

Abstract

With the ever increasing number of vehicles on the roads, traffic signs are becoming more and more important every passing day. Despite the fact that traffic signs are simple and easy to understand, in congested traffic drivers may miss them. Considering that even milliseconds can make a huge difference in preventing accidents, it would make a big help if a system could assist the driver with traffic signs. In order to achieve this, a traffic sign recognition system needs to be implemented. Accordingly, this study aims to develop a Turkish traffic sign detection and recognition system using the Faster R-CNN algorithm. The proposed solution utilizes TensorFlow framework and specifically makes use of the Faster R-CNN Inception-v2-COCO to train the object detection model. For training purposes, indigenous dataset is created containing 54 classes and 10842 Turkish traffic sign images. The training process of the model is carried out twice with step numbers 51,217 and 200,000, respectively. Then, these two models are used to detect 10 Turkish traffic sign images taken both daytime and nighttime. The results indicate that the proposed system's average precision is 67.2% and average recall is 78.3% when trained with 51,217 steps; on the other hand, the average precision increases to 76% and average recall to 82.8% when trained with 200,000 steps.

Keywords: Turkish Traffic Signs, Traffic Sign Recognition, Faster R-CNN, Object Detection, TensorFlow.

Türk Trafik İşareti Tanıma: Eğitim Adım Sayıları ve Aydınlatma Koşullarının Karşılaştırılması

Öz

Yollardaki araç sayısının her geçen gün artmasıyla birlikte trafik işaretleri her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Trafik işaretleri basit ve anlaşılması kolay olmasına rağmen, sıkışık trafikte sürücüler bunları gözden kaçırabilir. Milisaniyelerin bile kazaları önlemede büyük fark yarattığını göz önünde bulundurarak, sürücüye trafik işaretleri konusunda yardımcı olacak bir sistemin olmasının büyük bir fayda sağlayacağı oldukça açıktır. Bunun için bir trafik işareti tanıma sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu makalede, Daha Hızlı R-CNN algoritması kullanılarak bir Türk trafik işareti tespit ve tanıma sisteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen çözüm, TensorFlow çerçevesi ile nesne algılama modelini eğitmek için Daha Hızlı R-CNN Inception-v2-COCO'yu kullanır. Modelin eğitilmesi için 54 sınıf ve 10842 adet Türk trafik işareti görüntüsünü içeren yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Modelin eğitimi sırasıyla 51.217 ve 200.000 eğitim adım numaraları ile iki kez gerçekleştirilir. Daha sonra bu iki model kullanılarak gündüz ve gece çekilen 10 adet Türk trafik işareti görüntüsü tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, önerilen modellerin 51.217 eğitim adımıyla eğitildiğinde ortalama hassasiyetin %67,2 ve ortalama hatırlamanın %78,3 olduğunu göstermektedir; Öte yandan, model 200.000 eğitim adımıyla eğitildiğinde ortalama hassasiyet %76'ya ve ortalama hatırlamanın da %82,8'e yükselir.

Anahtar Kelimeler: Türk Trafik İşaretleri, Trafik İşareti Tanıma, Daha Hızlı R-CNN, Nesne Algılama, TensorFlow.

* Corresponding Author: kaan.kocakanat@std.yeditepe.edu.tr

1. Introduction

Undeniably, there is a rapid growth in the number of vehicles globally (Davis & Boundy, 2020). As the number of vehicles in traffic increases, so does the level of uncertainty in the traffic environment. To eliminate this uncertainty and manage traffic flow, traffic signs are placed on the roads. They are designed to be easy to understand to inform drivers about the current situation and other important information on the road. However, accidents can still occur when drivers do not pay attention to the traffic signs (Bucsuházy et al., 2020). For this very reason, a traffic sign recognition (TSR) system needs to be implemented in order to prevent accidents. Even though there are many studies on TSR systems, very few of these studies do not evaluate real-life driving conditions, such as at night or adverse weather conditions. Furthermore, designing a TSR system for a specific country is challenging because of a lack of public datasets - i.e even though multiple TSR studies were undertaken for various countries in the literature, most of them have based their work on the German traffic sign datasets (Stallkamp et al., 2011), (Houben et al., 2013). In addition, while traffic signs in most countries may seem to be similar, there are actually major differences between country traffic signs even within the same economical regions - e.g. Europe, United Kingdom, Americas, Asia and Australia. Hence, this study aims to utilize TensorFlow to implement a Turkish TSR system and evaluate it both at daytime and nighttime conditions. Therefore, as part of this work a Turkish Traffic Sign Dataset containing 54 different traffic signs is created and the Faster R-CNN Inception v2 COCO model is trained within the TensorFlow framework.

Accordingly, this paper is structured as follows; section II describes the previous work undertaken in TSR, section III highlights the methods used for TSR are reviewed and elaborated upon, section IV analyzes the requirements for the proposed system and explains in detail the tools selected for the proposed solution. Section V describes the development of the prototype and the creation of the Turkish Traffic Sign Dataset for the proposed system, as well as the essential steps taken for training the model. As a follow up, section VI highlights the evaluation methods used and elaborates on their outcomes and findings. Last but not least, Section VII draws the conclusion and discusses possible future venues for improvement.

2. Background

Traffic signal detection and recognition is a popular topic in computer vision with a wide range of applications. Since it is challenging to develop a system approach capable of identifying various types of traffic signs, this topic has been the focus of several research.

Yaliç and Can's TSR prototype is one of the earliest examples of Turkish TSR prototypes in the literature. (Yaliç and Can, 2011). In this work, the authors develop a system for the automatic recognition of 52 signs in Turkish roads. Their proposed system first detects probable sign regions in previously recorded videos of roads from a moving car, and then matches each identified region to an existing sign in the database or classifies it as a non-sign region. The prototype system achieves this by utilizing the Scale-invariant feature transform technique for feature extraction, and applying the normalized correlation approach for some traffic signs with the same shape but different angles. To create an evaluation content, the authors have recorded 164 traffic signs from a moving car at the speeds ranging between 30 to 70 km/h.

Then this content is fed to the proposed system and it was able to identify 154 of the traffic signs, which sets the success rate of the system to around 94%.

A novel method is proposed for detecting circular traffic signals (Gündüz et al., 2013). This study is unique because it uses a combination of the two algorithms. The proposed system utilizes a newly developed circle detection algorithm for circular TSR alongside histograms of oriented gradients (HOG)-based features. Thus, by estimating the circular actual borders of the traffic signs, an unnecessary background image can be eliminated. During the evaluation stage, two model classifiers, Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF), are used on 13,541 images containing 13 classes of German Traffic Sign Recognition Benchmark (GTSRB) to evaluate the performance of the proposed method. When only HOG-based features are used, the highest correct classification rate is 96.46%. On the other hand, when the proposed algorithm is combined with the HOG-based features, this rate increases to 97.17%. The most successful results obtained using the SVM classifier.

Another study, which utilizes feature extraction and recognition of traffic sign images, is carried out by Cinar et al. (Cinar et al., 2020). In this study, convolutional neural networks (CNN) are used to extract the image features and then the obtained image features are classified using the RF method. As part of this study, a dataset created by authors containing 1500 images of 14 Turkish traffic signs to extract 1000 features. The evaluation of the system resulted with a 93.7% success of the proposed classifier.

İrfan and Galip used the TensorFlow framework to detect and recognize traffic signs in Turkey (Kilic & Aydin, 2020). To achieve this, the authors created a Turkish Traffic Sign Dataset with 1250 pictures under diverse traffic and weather conditions, containing 41 distinct traffic signs. The dataset is trained on the Faster R-CNN Inception V2 COCO model using the TensorFlow framework and the model is trained with 200,000 steps. In the evaluation of the proposed system, 313 images were used and the system detected 447 traffic signs. It has been noted that when the threshold value is greater than 0.50, the model detects 423 signals with a 94.63% accuracy.

Çetinkaya and Acarman conducted a study on the detection of traffic signs using a novel image pre-processing technique to enhance the performance of a traffic sign detector (Çetinkaya & Acarman, 2021). In this study, the Faster R-CNN Inception Resnet V2 COCO model is used and the model is trained on German Traffic Sign Detection Benchmark dataset (GTSDB). The proposed image pre-processing method is based on filtering unimportant regions of images and emphasizing the more useful ones, reducing noise and allowing more effective detector training. Accordingly, the model is trained with 250,000 steps and training is repeated twice in the context of main experiments; first using original images and second time using pre-processed images. Precision, recall, and F-measure values for pre-processed images were 94.53 %, 91.91 %, and 93.2 %, respectively, when the threshold value was set to 0.7. As a result, the suggested image preprocessing approach improved the object detector's performance.

3. Methodology

Many different techniques and algorithms are used for TSR systems in the literature. In particular, techniques based on color and shape features have become popular, and these are referred to as traditional methods. Examples of some traditional methods are

the HOG feature descriptor, color segmentation and the Hough transform (De La Escalera et al., 2004), (Dalal & Triggs, 2005), (Garcia-Garrido et al., 2006), (Maldonado-Bascón et al., 2007). Many detection methods have been developed with traditional methods in the past decades.

In recent years, one of the most commonly used techniques is deep learning-based methods such as CNN. With the introduction of AlexNet (Krizhevsky et al., 2012) in 2012, CNN models and deep learning became popular. This CNN architecture won the ImageNet LargeScale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) and performed substantially better when compared to the traditional approaches. Hence, CNN has been widely used for TSR problems (Girshick et al., 2014), (Girshick, 2015), (Ren et al., 2015), (Cinar et al., 2020), (Kilic & Aydin, 2020), (Çetinkaya & Acarman, 2021).

3.1. Convolutional Neural Networks (CNN)

CNN is the one of the most popular deep learning algorithms, which achieved very significant results in some complex visual tasks. CNN consists of multiple layers placed one after the other for feature extraction of curves and edges and builds them up to more abstract concepts (Figure 1). The continuation of these layers is a trainable classifier.

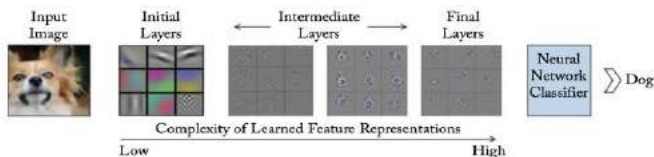


Figure 1. Different representations of the object on different layers in the network (Khan et al., 2018).

In CNN, after the input data is received, the training process is carried out layer-by-layer. Finally, it gives a final output to compare with the correct result. As a result of the comparison, an error occurs equal to the difference between the produced result and the desired result. By updating the weights at every iteration, the error is reduced.

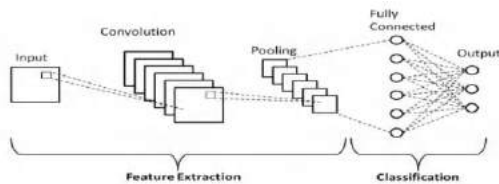


Figure 2. A basic diagram of a CNN architecture (Phung & Rhee, 2018).

As seen in Figure 2, a typical CNN is constructed by input layer, output layer and the repetition convolutional layers, pooling layers and fully connected layers. Each layer has its own function. The input layer is the first layer of the whole CNN. In this layer, data is given raw to the network. The input layer in CNN should contain image data, and the image data is usually represented by a matrix that holds the pixel values of the image. A convolutional layer is the fundamental component of a CNN. In the convolutional layer, the input to the convolution layer is convolved with what is called a kernel, a convolution matrix, or a filter to generate an output feature map. Convolution process is based on the process of sliding a filter over the input image (Figure 3).

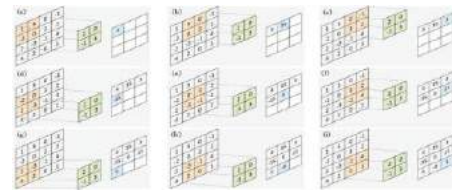


Figure 3. A convolution process with a 2x2 filter applied to a 4x4 input image (Khan et al., 2018).

Pooling layer is another layer that is often added between successive convolutional layers in the CNN. A pooling layer operates on blocks of the input feature map and combines the feature activations. The task of this layer is to reduce the spatial size of the data representation, the parameters within the network, and the number of computations. Thus, it also controls overfitting.

3.2. Faster R-CNN

Region-based convolutional neural networks (R-CNN) are introduced by Girshick et al., and it is a foundation method for all modern object detection networks (Girshick et al., 2014). This study is unique since it is the first to combine region proposals with CNN. In this proposed method, the system receives an input image and extracts around 2000 region proposals from the bottom-up with Selective Search (Uijlings et al., 2013).

After R-CNN, Girshick proposed a new approach for object detection called Fast R-CNN to solve the difficulties of R-CNN (Girshick, 2015). The approach is similar to the R-CNN algorithm but Fast R-CNN uses a main CNN with multiple convolutional layers to detect features in the picture before proposing regions. In this model, the input image is given to CNN to generate a convolutional feature map. Thus, there is no need to use a separate CNN for each region proposal. In R-CNN and Fast R-CNN models, the performance of the network is slow as selective search is used to find region proposals. In order to solve this problem, Ren et al. abandoned the selective search method completely and developed the Region Proposal Network (RPN) algorithm (Ren et al., 2015). When RPN and the Fast R-CNN object detector are combined, a new model called Faster R-CNN is developed. Using a RPN algorithm in Faster R-CNN instead of selective search cuts down on the number of proposed regions while also ensuring accurate object detection. RPN is a deep convolutional neural network that is used to generate proposal regions.

The Faster R-CNN can be evaluated in two stages (Figure 4). In the first stage, RPN instructs the second stage of Faster R-CNN where to search for the object. RPN takes images of any size as input and produces a set of rectangular objects which are proposed as the locations of the object based on the object score. It makes these proposals by sliding a small spatial window over the feature map that is generated by the convolutional layer.

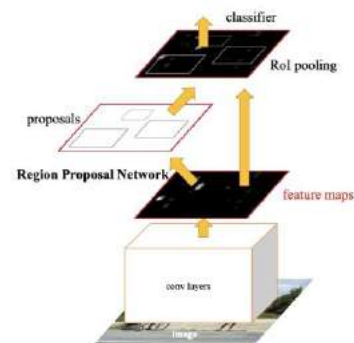


Figure 4. The architecture of Faster R-CNN model (Ren et al., 2015)

The Fast R-CNN object detector is the second stage of the Faster R-CNN. It takes the feature maps that the initial CNN generated and performs RoI pooling on them. With the introduction of the RPN, Faster R-CNN eliminates the region proposal limitations inherited by Fast R-CNN. Thus, Faster R-CNN is better than Fast R-CNN in terms of speed.

3.3. Evaluation Methodology

Since it is widely used to benchmark the performance of object detection, the COCO metrics are utilized as evaluation criteria for the detection accuracy in this study. As shown in Fig. 5, Average Precision (AR) and Average (Recall) are averaged over multiple Intersections over Unity (IoU) values. In COCO evaluation metric, the IoU threshold ranges from 0.50 to 0.95 with a step size of 0.05 represented as AP@[.5:.05:.95]. This is known as "mean average precision" (mAP) in the object detection field.

```

Average Precision (AP):
AP                % AP at IoU=.50:.05:.95 (primary challenge metric)
APIoU=.50        % AP at IoU=.50 (PASCAL VOC metric)
APIoU=.75        % AP at IoU=.75 (strict metric)
AP Across Scales:
APsmall          % AP for small objects: area < 322
APmedium        % AP for medium objects: 322 < area < 962
APlarge         % AP for large objects: area > 962
Average Recall (AR):
ARmax=1         % AR given 1 detection per image
ARmax=10        % AR given 10 detections per image
ARmax=100       % AR given 100 detections per image
AR Across Scales:
ARsmall          % AR for small objects: area < 322
ARmedium        % AR for medium objects: 322 < area < 962
ARlarge         % AR for large objects: area > 962
    
```

Figure 5. COCO evaluation metrics (COCO, 2015)

On the other hand, Figure 6 describes the precision, recall and UoI calculation formulas, where TP, FP, and FN indicate true positive, false positive, and false negative, respectively. Hence, it can be clearly seen that the higher the precision and recall, the better the accuracy. In this formula, the object is the area of the correct object and the detected box is the predicted candidate area. IoU is obtained by dividing the overlap area by the union area.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{IoU} = \frac{(\text{Object} \cap \text{Detected box})}{(\text{Object} \cup \text{Detected box})}$$

Figure 6. The Formula of Precision, Recall and IoU

4. Dataset Creation And Implementation

This section describes the steps taken to process the creation of the Turkish Traffic Sign Dataset and the necessary processes applied to train the model.

4.1. Turkish Traffic Sign Dataset

In order to create a successful model, a new indigenous dataset is created since previous studies mostly used the German dataset. This approach is taken because, even though the German and Turkish traffic signs are similar, there are also distinct signs that are only available in Turkey. As part of this study, Turkish traffic sign images are collected to train the model, which are obtained from Google maps. While gathering the pictures, it was taken into consideration that an equal amount of pictures were collected for each class to ensure balance in the dataset. The images are stored in PNG and JPEG formats in various resolutions. The proposed dataset includes 11353 labeled images

in a total of 10842 images containing 54 traffic signs. Figure 7 illustrates the proposed Turkish Traffic Sign Dataset classes.



Figure 7. Examples of Turkish Traffic Signs in 54 categories

A total of 10842 images are divided into 80% train data and 20% test data. Two versions of test data are collected to compare the accuracy of the model during day and nighttime.

4.2. Implementation

During the prototype system creation process, the proposed model is trained on Google Colab (Bisong, 2019) with TensorFlow Object Detection API (Huang et al., 2017). The pre-trained Faster R-CNN Inception V2 COCO (Szegedy et al., 2016) model is used to retrain the model using the proposed Turkish Traffic Signs Dataset.

Table. 1 Pre-Trained Models for TensorFlow (Tensorflow, 2018)

Model Name	Speed (ms)	COCO mAP
faster-rcnn-inception-v2-coco	58	28
faster-rcnn-resnet50-coco	89	30
faster-rcnn-resnet50-lowproposals-coco	64	-
rcnn-resnet101-coco	92	30
faster-rcnn-resnet101-coco	106	32
faster-rcnn-resnet101-lowproposals-coco	82	-
faster-rcnn-inception-resnet-v2-airos-coco	620	37
faster-rcnn-inception-resnet-v2-airos-lowproposals-coco	241	-
faster-rcnn-nas	1833	43
faster-rcnn-nas-lowproposals-coco	540	-

Table. 1 compares the pre-trained models. For the COCO mAP column, the higher the value, the more successful the model is. Considering the speed and COCO average precision (mAP) values, it is decided to utilize the Faster R-CNN Inception V2 COCO model in this study. The training of the model is conducted twice with step numbers (num_step value) 51,217 (Model-A) and 200,000 (Model-B). 8672 pictures with 9114 class labels are used as train data, and 2170 pictures with 2241 class labels are used as test data. The steps of the implementation process are shown in Figure 8.

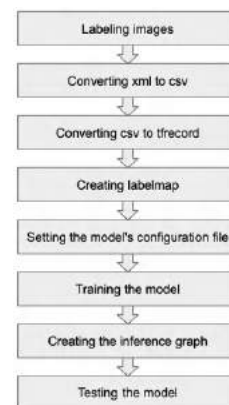


Figure 8. The steps of the implementation process

The labeling process, indicated in Figure 8, involves the creation of an xml formatted file that stores the location of the signs in the image. LabelImg is used to label the images in this process (Tzutalin, 2015). Since the model used in the training requires tfrecord formatted files as input, xml files are first converted to csv and then csv files are converted to tfrecord. After this process, a labelmap is created containing the name and id information of each class to be detected and recognized by the model. After the label map is created, the num_steps value in the model's config file is set. Accordingly, after the required pre-processing is undertaken, the model is trained on a Nvidia Tesla K80 graphic card, using Python programming language and TensorFlow version 1.15.2. In order to use the model after training is carried out, a frozen inference graph is created. After this process is done, the model is ready to be used for classification of traffic signs.

5. Testing and Evaluation

After the model training is carried out with the proposed Turkish Traffic Sign Dataset using the Faster R-CNN Inception V2 COCO model, the newly trained models are evaluated. In order to conduct the evaluation of models, day and night pictures of Turkish traffic signs are collected. Some of these signs are specifically selected since they are exclusively seen in Turkish traffic signs and are not included in the datasets of GTSDDB and GTSRB. Stop and one-way traffic signs are examples of these. Test images are taken throughout the day and nighttime. In order to perform the test with more accuracy, extreme attention is paid so that the images are taken at the same place and at the same angle. The test code for testing the models was written using Python and executed on Colab.



Figure 9. Model-A: Recognition trials of the B-14a and the TT-2 traffic signs in daytime and nighttime

Model-A is evaluated with stop (B-14a) and pedestrian crossing (TT-2) traffic signs in daytime and nighttime. The both traffic signs are recognized by the Model-A as can be seen in Figure 9. Model-A recognized the B-14a with 99% accuracy and the TT-2 with 97% accuracy in the nighttime. Also, it recognized the B-14a with 99% accuracy and the TT-2 with 95% accuracy in the daytime.

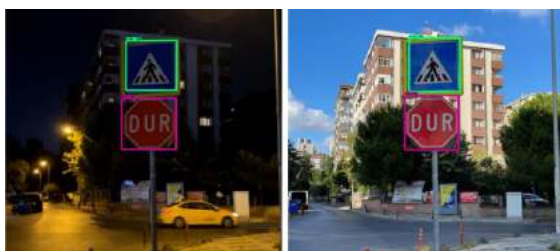


Figure 10. Model-B: Recognition trials of the B-14a and the TT-2 traffic signs in daytime and nighttime

When Model-B is evaluated with the same traffic signs and under the same conditions, it recognizes both traffic signs with high accuracy, as can be seen in Figure 10. Model-B recognized

the B-14a with 100% accuracy and the TT-2 with 99% accuracy in the nighttime. It recognized the B-14a and TT-2 with 99% accuracy in the daytime.



Figure 11. Model-A: Recognition trials of the B-16 traffic sign in daytime and nighttime

Model-A is evaluated for another traffic sign, one-way (B-16) in Figure 11. Since B-16 contains Turkish character, it is critical for evaluation. Model-A recognized the B-16 with 97% accuracy in the daytime. However, it could not recognize the B-16 in the nighttime.



Figure 12. Model-B: Recognition trials of the B-16 traffic sign in daytime and nighttime

Unlike the Model-A, the Model-B recognized the B-16 both in the daytime and nighttime when evaluated with the same traffic sign under the same conditions in Figure 12. Model-B recognized the B-16 with 92% accuracy in the nighttime and 99% accuracy in the daytime.



Figure 13. Model-A: Recognition trials of the B-38 and the TT-29-70 traffic signs in daytime and nighttime

On the side of a vehicle road, the Model-A is examined with a 70 km speed limit (TT-29-70) and priority road (B-38) traffic signs in Figure 13. It recognized the B-38 both in the daytime and nighttime. However, it could only recognize the TT-29-70 in the daytime. Model-A recognized the B-38 with 84% accuracy in the nighttime. It recognized the B-38 with 97% accuracy and the TT-29-70 with %84 accuracy in the daytime.



Figure 14. Model-B: Recognition trials of the B-38 and the TT-29-70 traffic signs in daytime and nighttime

On the other hand, during the evaluation of Model-B, it recognized the B-38 and the TT-29-70 traffic signs both daytime and nighttime as can be seen Figure 14. Model-B recognized the B-38 with 97% accuracy and the TT-29-70 with 99% accuracy in the nighttime. Also, it recognized the B-38 with 100% accuracy and the TT-29-70 with 100 % accuracy in the daytime.

Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets=100	= 0.672
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50	area= all	maxDets=100	= 0.851
Average Precision	(AP) @[IoU=0.75	area= all	maxDets=100	= 0.832
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area= small	maxDets=100	= 0.490
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area=medium	maxDets=100	= 0.683
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area= large	maxDets=100	= 0.691
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets= 1	= 0.783
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets= 10	= 0.785
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets=100	= 0.785
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= small	maxDets=100	= 0.583
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area=medium	maxDets=100	= 0.770
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= large	maxDets=100	= 0.800

Figure 15. Average Precision and Average Recall values of the model-A

Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets=100	= 0.760
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50	area= all	maxDets=100	= 0.903
Average Precision	(AP) @[IoU=0.75	area= all	maxDets=100	= 0.893
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area= small	maxDets=100	= 0.554
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area=medium	maxDets=100	= 0.763
Average Precision	(AP) @[IoU=0.50:0.95	area= large	maxDets=100	= 0.778
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets= 1	= 0.828
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets= 10	= 0.828
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= all	maxDets=100	= 0.828
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= small	maxDets=100	= 0.617
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area=medium	maxDets=100	= 0.818
Average Recall	(AR) @[IoU=0.50:0.95	area= large	maxDets=100	= 0.844

Figure 16. Average Precision and Average Recall values of the model-B

The COCO metrics are used to compare the AP and AR values of the models that as a result of the training. Model-A and Model-B achieved the results in Figure 15 and in Figure 16, respectively. These two models are evaluated on 2170 test data. In order to measure the success of the model during the evaluation, AP and AR values are found and averaged for 10 different threshold values, starting from 0.5 and going up to 0.95 with 0.05 increments. As can be seen in Figure 15 and Figure 16, AP is 67.2% for Model-A and 76% for Model-B. AR is 78.3% for Model-A and 82.8% for Model-B. As a result of the comparison, it is obtained that Model-B is more successful than Model-A.

6. Conclusion and Future Work

This paper proposed a Faster R-CNN Inception V2 COCO based Turkish traffic sign recognition system. As part of this study, the Turkish Traffic Sign Dataset is created by collecting images of Turkish traffic signs. The training of the model is conducted twice with two different step numbers. Models were evaluated with pictures taken in daytime and nighttime. During the evaluation phase, the two models are compared and it is observed that the Model-B is much more successful than the Model-A. In future work, it is aimed to increase the success values of the model for more classes by increasing the number of collected data.

References

Davis, S., & Bondy, R. G. (2020). *Transportation Energy Data Book: Edition 38.2* (No. ORNL/TM-2019/1333). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).

Bucsuházy, K., Matuchová, E., Zůvala, R., Moravcová, P., Kostíková, M., & Mikulec, R. (2020). Human factors contributing to the road traffic accident occurrence. *Transportation research procedia*, 45, 555-561.

Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., & Igel, C. (2011, July). The German traffic sign recognition benchmark: a multi-class classification competition. In *The 2011 international joint conference on neural networks* (pp. 1453-1460). IEEE.

Houben, S., Stallkamp, J., Salmen, J., Schlipsing, M., & Igel, C. (2013, August). Detection of traffic signs in real-world images: The German Traffic Sign Detection Benchmark. In *The 2013 international joint conference on neural networks (IJCNN)* (pp. 1-8). Ieee.

Yaliç, H. Y., & Can, A. B. (2011, September). Automatic recognition of traffic signs. In *2011 7th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA)* (pp. 361-366). IEEE.

Gündüz, H., Kaplan, S., Günel, S., & Akinlar, C. (2013, April). Circular traffic sign recognition empowered by circle detection algorithm. In *2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.

CINAR, I., TASPINAR, Y. S., SARITAS, M. M., & KOKLU, M. (2020). FEATURE EXTRACTION AND RECOGNITION ON TRAFFIC SIGN IMAGES. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 19(4), 282-292.

Kilic, I., & Aydin, G. (2020, September). Traffic Sign Detection And Recognition Using TensorFlow’s Object Detection API With A New Benchmark Dataset. In *2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 1-5). IEEE.

Çetinkaya, M., & Acarman, T. (2021, May). Traffic Sign Detection by Image Preprocessing and Deep Learning. In *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 1165-1170). IEEE.

De La Escalera, A., Armingol, J. M., Pastor, J. M., & Rodríguez, F. J. (2004). Visual sign information extraction and identification by deformable models for intelligent vehicles. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 5(2), 57-68.

Garcia-Garrido, M. A., Sotelo, M. A., & Martin-Gorostiza, E. (2006, September). Fast traffic sign detection and recognition under changing lighting conditions. In *2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference* (pp. 811-816). IEEE.

Maldonado-Bascón, S., Lafuente-Arroyo, S., Gil-Jimenez, P., Gómez-Moreno, H., & López-Ferreras, F. (2007). Road-sign detection and recognition based on support vector machines. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 8(2), 264-278.

Dalal, N., & Triggs, B. (2005, June). Histograms of oriented gradients for human detection. In *2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'05)* (Vol. 1, pp. 886-893). Ieee.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25, 1097-1105.

Khan, S., Rahmani, H., Shah, S. A. A., & Bennamoun, M. (2018). A guide to convolutional neural networks for computer vision. *Synthesis Lectures on Computer Vision*, 8(1), 1-207.

Phung, V. H., & Rhee, E. J. (2018). A deep learning approach for classification of cloud image patches on small datasets. *Journal of information and communication convergence engineering*, 16(3), 173-178.

Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 580-587).

Uijlings, J. R., Van De Sande, K. E., Gevers, T., & Smeulders, A. W. (2013). Selective search for object recognition. *International journal of computer vision*, 104(2), 154-171.

- Girshick, R. (2015). Fast r-cnn. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 1440-1448).
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in neural information processing systems*, 28, 91-99.
- COCO (Common Objects in Context). (2015) Retrieved August 29, 2021, from <https://cocodataset.org/#detection-eval>.
- Tensorflow (2018) TensorFlow 1 Detection Model Zoo. Retrieved August 30, 2021, from https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/g3doc/tf1_detection_zoo.md.
- Bisong, E. (2019). *Building machine learning and deep learning models on Google cloud platform: A comprehensive guide for beginners*. Apress.
- Huang, J., Rathod, V., Sun, C., Zhu, M., Korattikara, A., Fathi, A., ... & Murphy, K. (2017). Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 7310-7311).
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2818-2826).
- Tzatalin. (2015) LabelImg. Git code. Retrieved August 30, 2021, from <https://github.com/tzatalin/labelImg>.



Kimyasal Mordanların Varlığında Nylon Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanmasının Araştırılması

Güzin Akyol^{1, 2}, Behçet Becerir^{3*}

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8229-4249), guznakyl@gmail.com

²Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, 16369, Bursa, Türkiye

^{3*} Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2655-2773), *becerir@uludag.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1021550)

ATIF/REFERENCE: Akyol, G. & Becerir, B. (2021). Kimyasal Mordanların Varlığında Nylon Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanmasının Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1476-1485.

Öz

Nylon lifleri endüstriyel olarak üretilen sentetik liflerin ilk üyesi olup, görünüm ve dayanım özellikleri sayesinde poliester ve akrilik ile beraber en fazla kullanılan sentetik liflerden birisidir. Reaktif boyarmaddeler 1950'leri ortalarında piyasaya sürülmüş ve selülozik liflerin boyanmasında en fazla kullanılan boyarmaddelerdir. Reaktif boyarmaddelerin en büyük özelliği liflerdeki uygun gruplar ile kovalent bağ yapma yapabilmeleridir. Mordan kullanımı özellikle doğal boyarmadde uygulamalarında gerekli olup, boyarmaddelerin lif içinde tutunma ve kalma özelliklerini iyileştirirler. Bu çalışmada nylon kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanmasında mordan kimyasallarının kullanımı araştırılmış olup, uygulanan boyama şartları altında daha iyi boyarmadde çekimi ve renklendirme özelliklerinin eldesi incelenmiştir. Çalışmada reaktif grup olarak Trifloropirimidin (TFP) fonksiyonel grubuna sahip mavi renkte boyarmadde kullanılmıştır. Belirlenen üç farklı proses, pH ve mordan türünde çalışmalar yapılmıştır. Boyama öncesi ve sonrası boyama çözeltilerinden alınan sıvı numunelerinin spektrofotometrede transmittans/absorbans ölçümleri yapılarak, yüzde boyarmadde çekimleri değerlendirilmiştir. Uygulanan üç farklı proses sonunda nylon kumaşların mordanlı ve mordansız boyama sonrasında renk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mordan varlığında nylon liflerinin reaktif boyarmaddelerle boyanma özelliklerinin ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama yöntemleri ile geliştirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nylon, Reaktif Boya, Mordan, Renk Kuvveti, Renk

Investigation of Reactive Dyeing of Nylon Fabrics in the Presence of Chemical Mordants

Abstract

Nylon fibres are the first synthetic fibres to be produced in industrial scale and they are one of the most consumed synthetic fibres besides polyester and acrylic due to their visual and usage properties. Reactive dyes were commercially produced in mid-20th century and they are mostly preferred in dyeing of cellulosic fibres. The most important property of reactive dyes is their ability to make covalent bonds within the fibre. Mordants are used mainly in the application of natural dyes to hold and retain the dye molecules in the fibre. In this paper, nylon fabrics were dyed with a reactive dye with trifluoropyrimidine (TFP) functional group having a blue hue in the presence of chemical mordants to obtain better exhaustion and coloration properties. Dyeings were performed with three different dyeing/mordanting methods at three pH levels. Three chemical mordants were used. Dye exhaustion percentages were determined by transmittance/absorbance measurements of dyeing liquors prior and after dyeing. The reflectance measurements of the dyed fabric samples were recorded and colour strength values were obtained. The results revealed that mordant usage with pre-mordanting and meta-mordanting methods improved the coloration properties of reactive dyes on nylon fabrics.

Keywords: Nylon, Reactive Dye, Mordant, Colour Strength, Colour

1. Giriş

Poliamid lifleri ticari kullanımda çoğunlukla 'nylon' ticari ismiyle bilinirler ve genel olarak nylon kelimesi poliamid liflerini ifade etmek için kullanılır. Özel amaçlar için üretilen yüksek performanslı poliamid lifleri (aromatik poliamidler) (Kevlar, Nomex vb.) benzer şekilde ticari isimleriyle bilinirler (Burkinshaw, 1995).

Nylon 6,6 lifleri poli-hekzametilen-adipat poliamid polimerinden polikondenzasyon reaksiyonu ile elde edilirler. Tekstil yanısıra diğer endüstriyel alanlarda da büyük ve önemli kullanıma sahip olan nylon lifleri parlaklık, mukavemet, dayanıklılık, kimyasallara karşı direnç ve kısmi hidrofobluk özellikleriyle ön plana çıkarlar (Burkinshaw, 1995; Lewis ve MacDoughall, 1998).

Tekstil ve hazır giyim üretiminde renkli olarak kullanılmak istenen nylon liflerinin daha koyu renklerde ve daha yüksek yaş haslıklarda boyanması konusunda her zaman talepler vardır. Bu taleplerin karşılanmasına yönelik olarak nylon liflerinin reaktif boyarmaddelerle renklendirilmesi ve elde edilen renklerin ve yaş haslıklarının geliştirilmesi konusu üzerinde uzun yıllardır çalışılmaktadır. Bu çalışmalar özellikle boyama pH'ı, kullanılan boyarmaddenin çözünürlük sağlayan grupları ve kovalent bağ yapan reaktif grupları üzerinden yapılmıştır (Burkinshaw ve Ganghi, 1996, 1997a, 1997b).

Reaktif boyarmaddeler 1956 yılında ve ilk örnekleri İngiliz ICI firması tarafından selülozik mamullerin boyanmasına yönelik olarak piyasaya sürülmüş olan boyalardır. Reaktif boyarmaddeler öncelikle çözelti içindeki asit-alkali şartlar altındaki davranışları iyi bilinen yün liflerinin boyanması için araştırılmış olup, sentezlenen boya ve reaktif grupların alkali şartlar altında selülozik lifleri çok iyi renklendirmelerinin bulunmasıyla selülozik liflerin boyanmasına yönelik olarak kullanılmaya başlanmıştır (Rys ve Zollinger, 1989). Bu boyarmaddeler günümüzde poliester liflerinin boyanmasında kullanılan dispers boyarmaddeler ile beraber en yüksek üretim ve tüketime sahip boyalardır. Reaktif boyarmaddeler selülozik liflerle özellikle alkali şartlar altında reaksiyon verme kabiliyetine sahip anyonik fonksiyonel gruplu boyalar olup, belli şartlar altında sentezlenmiş bazı yapı ve özel gruplar asidik şartlar altında yün liflerini de renklendirme kabiliyetine sahiptir. Reaktif boyarmaddeler renklendirme ve bağ yapma özellikleri nedeniyle belli şartlar altında nylon liflerini de boyama kabiliyetine sahiptir (Sumithra ve Arasi, 2014). Nylon lifleri belli pH şartları altında reaktif boyarmaddelerin çözünürlük sağlayan sülfonik asit grupları ve reaktif grupları ile reaksiyon verebilir. Bununla birlikte her zaman koyu renklerde ve yüksek yaş haslıklara sahip boyamalar yapılamaz.

Lewis ve MacDangall boyama şartları altında lif içinde terminal amino gruplarının sadece bir kısmının kovalent bağ reaksiyonu verebildiğini bunun lif kristalinitesi ve lif iç negatif yükü ile ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır (Lewis ve MacDangall, 1998). Burkinshaw ve Ganghi konvansiyonel ve mikrolif nylon kumaşların farklı reaktif boyarmaddelerle boyanması konusunda çalışmışlardır. Düşük boyarmadde konsantrasyonlarında benzer renk derinliğinde boyamalar elde ederken, boyarmadde konsantrasyonu arttıkça konvansiyonel liflerden mamul kumaşların renk derinliklerinin daha fazla arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Burkinshaw ve Ganghi (1996, 1997a ve 1997b). Sumithra ve Arasi (2014) seçilen belli boyama şartları

altında reaktif ve asit boyarmaddelerin nylon 6,6, kumaşlarda benzer renklendirme özellikleri verdiği belirtilmiştir. Soleimani-Gorgani ve Taylor (2006a, 2006b ve 2008) farklı moleküler özelliklere sahip reaktif boyarmaddelerle yaptıkları çalışmalarda, çalışma için kullandıkları reaktif boyarmaddeleri nylon lifleri ile olan fiksasyon işlemlerinde molekül şekli ve tipinin daha önemli olduğu ve reaktif grup sayısının fiksasyon üzerinde daha az etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Burkinshaw ve ark. (2001) çözelti pH değişimine bağlı olarak heterobifonksiyonel reaktif boyarmaddelerin nylon 6,6 kumaşlarda verdikleri çekim miktarlarını araştırmışlar ve sonuçları uygulama pH'ı ile ilişkilendirmişlerdir. El-Gabry ve El-Zawary (2008) mordan olarak Tannik Asit kullanımı ile nylon 6 kumaşların bir katyonik boyarmadde ile emülsiyon şartları boyanmasını araştırmışlar ve bu uygulamanın sulu şartlar altında boyamaya göre daha iyi haslık özellikleri verdiğini belirtmişlerdir.

Araştırma literatüründe nylon 6,6 kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanmasında mordan kullanımı konusunda temel olabilecek çalışmalar bulunmamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar genel olarak boyarmadde moleküler özellikleri ve boyama parametrelerinin optimizasyonu yönünde yapılmıştır.

Bu çalışmada sunulan deneysel çalışmada nylon 6,6 liflerinden mamul kumaş numunesi TFP reaktif gruba sahip reaktif boya ile doğal mordan kimyasalları varlığında boyanarak, lifler tarafından bağlanan boyarmadde molekül miktarının artırılması ve daha yüksek renk derinliğine sahip daha koyu renklerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada %100 nylon 6,6 kumaş kullanılmıştır. Çözgü ipliği olarak 140/136 numara (denye/filament sayısı) nylon 6,6 kullanılmış ve çözgü sıklığı 49 çözgü/cm'dir. Atkı ipliği olarak 70/68 numara (denye/filament sayısı) nylon 6,6 kullanılmış ve atkı sıklığı 39 cm/atkıdır. Kumaş örgüsü Dimi 2/1 ve kumaş gramajı 176 g/m²'dir.

Çalışmada Trifloropirimidin (TFP) fonksiyonel gruba sahip mavi reaktif boyarmadde kullanılmıştır. Boyamalar Ataç marka numune boyama makinesinde yapılmıştır. Boyama sonrası kumaş numuneleri ılık su ile 10 dakika durulanmıştır.

Boyama sonrası renk derinlikleri (K/S) ve boyama çözeltisi absorbans değerleri Datacolor 800 L reflektans (ve transmitans) spektrofotometrede ölçülmüştür.

Bu çalışmada mordan olarak Potasyum Alüminyum Sülfat (Alum), Demir (II) Sülfat ve Tannik Asit laboratuvar saflığında kullanılmıştır.

2.2. Metot

Boyama çalışmaları %0,5, %1 ve %2 olarak üç konsantrasyonda gerçekleştirilmiştir. Boyama çözeltisi pH seviyeleri pH 2, pH 4 ve pH 6 olarak seçilmiş ve pH ayarı için Mellvaine tampon çözeltisi kullanılmıştır. Boyamalar 1:20 flote oranında yapılmış, maksimum boyama sıcaklığı olarak 102°C ve boyama süresi 60 dk olarak seçilmiştir.

Uygulanan mordan miktarı %0,1 olarak düşük bir konsantrasyonda seçilmiştir. Mordan uygulamaları tekstil boyama literatüründe geleneksel olarak bilinen üç yöntem ile yapılmıştır.

Bunlar; ön mordanlama, eş zamanlı mordanlama, ve son mordanlamadır.

Boyama öncesi ve sonrasında çözelti absorpsan değerlerinin ölçümü için 1 ml numuneler alınarak 20 ml'ye seyreltilmiştir. Spektrofotometre cihazı ile alınan absorpsan verileri kaydedilmiştir.

Bulgular kısmında verilen % Boyarmadde Çekimi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Boyarmadde Çekimi} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

burada;

A₀ : Boyama Öncesi Çözelti Absorpsanı

A₁ : Boyama Sonrası Çözelti Absorpsanı

Renk ölçüm sonucu ve değerlendirmesi Kubelka-Munk denkleminde göre renk derinliği (Renk Kuvveti) olarak verilmiştir. Buna göre:

$$K/S = (1 - R_2) / 2R$$

burada;

K : Yüzeyin Işığı Absorblama Katsayısı

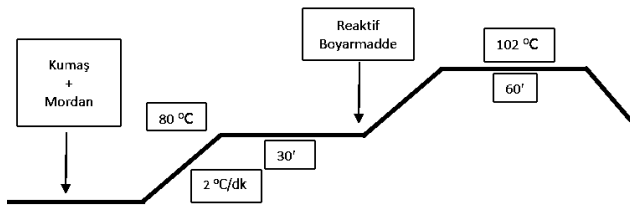
S : Yüzeyin Işığı Saçma Katsayısı

R : λ Dalga boyundaki Kısmi Reflektans (□max)

Absorpsan/transmitans ve reflektans ölçümleri 610 nm maksimum absorpsan dalga boyunda (□max) gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir.

2.2.1. Ön Mordanlama Yöntemi İle Boyama

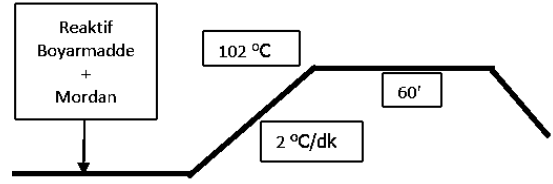
Ön mordanlama yöntemine göre boyama prosesi Şekil 1'de verilmiştir. Boyama banyosunun pH'ı hazırlanan McIlvaine tampon çözeltisi ile boyama öncesinde numune tüplerine eklenerek ölçülen pH değerleri kaydedilmiştir. 80°C' de yarım saat işlem gören mordanlı kumaşların tekrar pH değerleri ölçülerek bu aşamada reaktif boyarmadde eklenmiştir. Boyama öncesi absorpsan değeri olarak boyarmadde ilavesinden sonra boyama banyosundan transmitans ölçümleri yapılmıştır. Proses sonunda boyama sonrası pH değerleri ve absorpsan değerleri aynı seyreltme oranında alınarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Ön Mordanlama Prosesi

2.2.2. Eş Zamanlı Mordanlama Yöntemi İle Boyama

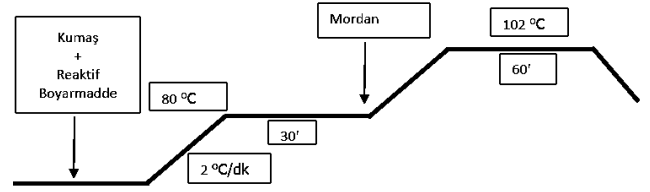
Şekil 2'de verilen eş zamanlı mordanlama yöntemde boyarmadde ve mordan kimyasalı boyama başlangıcında beraber çözeltiye ilave edilmiştir. Her bir numune tüp içinde boyama öncesi pH değerleri alınarak boyama sonrasındaki pH değişimleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Eş Zamanlı Mordanlama

2.2.3. Son Mordanlama Yöntemi İle Boyama

Son mordanlama yöntemine göre boyama için Şekil 3'teki proses kullanılmıştır. Hazırlanan McIlvaine tampon çözeltisi reaktif boyarmadde ilave edilerek boyama öncesinde 1 ml alınıp 20 ml'ye seyreltilerek absorpsan değerleri kaydedilmiştir. 80°C' de yarım saat işlem gören kumaş boyama makinesinden çıkartılarak tekrar absorpsan değerleri belirlenen oranda seyreltilerek ölçülmüştür. Nylon kumaş üzerinde ilk yarım saatlik sürede boyarmadde çekiminin analizi için yapılan bir uygulamadır. Her bir mordan, pH ve % boyarmadde için bu işlem tekrarlanmıştır. Mordan ilavesinin ardından boyama bitiminde kumaşların absorpsan değerleri boyama sonrası olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3. Son Mordanlama Prosesi

Mordansız boyama için Şekil 2'de verilen boyama yöntemi başlangıçta mordan ilavesi yapılmadan kullanılmıştır. Bu yöntem aynı zamanda mordansız olarak nylon kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanmasında kullanılan temel boyama yöntemidir (Burkinshaw, 1995; Burkinshaw ve Gangi, 1996a, 1997b; Burkinshaw ve Bide, 2001)

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Araştırma Sonuçları

Nylon kumaşın trifloropirimidin (TFP) reaktif gruba sahip mavi reaktif boyarmadde ile mordan varlığında boyanması, belirtilen üç prosese göre gerçekleştirilmiştir. Boyama öncesi ve sonrası pH ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan pH ölçümlerinde pH değerlerinin boyama sonuçlarını etkileyecek kadar sapma göstermediği ve minimum sayısal değişimlerin (yüzdelerik basamakta 1-5 arası) ortaya çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 4. %0,5 TFP boya ile ön mordanlama prosesi sonu boyama çözeltileri



Şekil 5. %0,5 TFP boya ile eş zamanlı mordanlama prosesi sonu boyama çözeltileri



Şekil 6. %0,5 TFP boya ile son mordanlama prosesi sonu boyama çözeltileri



Şekil 7. %0,5 TFP boya ile mordansız boyama prosesi sonu boyama çözeltileri

Boyama sonrası elde edilen çözeltilere örnek olarak % 0,5 boyama konsantrasyonu için pH 2, 4 ve 6'da üç farklı proses ve mordan için çözeltilerin görselleri verilmiştir. %0,5 TFP boyama ile ön mordanlama prosesi sonrası boyama banyosunun görseli Şekil 4'te verilmiştir. 1, 2 ve 3 numaralı çözeltilerde sırası ile Alüminyum Potasyum Sülfat (Alum), Demir (II) Sülfat ve Tannik Asit mordanı ile pH 2'de boyama sonucu görselidir. Şekil 4'te belirtilen 4, 5, 6 numaralı boyamalar sırası ile Alüminyum Potasyum Sülfat (Alum), Demir (II) Sülfat ve Tannik Asit mordanı ile pH 4'te boyama sonrası görselidir. Şekil 4'da belirtilen 7, 8, 9 numaralı boyama çözeltileri sırası ile Alüminyum Potasyum Sülfat (Alum), Demir (II) Sülfat ve Tannik Asit mordanı ile pH 6'da boyama sonrası görselidir. Şekil 5 ve 6'da eş zamanlı mordanlama ve son mordanlama yöntemlerinin yukarıdabelirtilen sıra ile çözelti görselleri bulunmaktadır. Şekil 7' de yine pH 2, 4 ve 6 sırasında ama mordansız yapılan boyama sonrası çözelti görselleri verilmiştir. Burada üçer örnekler sırasıyla %0,5, %1 ve %2 boyama konsantrasyonları boyama sonu çözelti örnekleridir (Tablo 10 ve 14).

Tablo 1. %0,5 TFP Boya ile Ön Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Ön Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri				
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%0,5 TFP, %Alum-pH:2	610	0,2738	0,0559	79,58
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,3031	0,0557	81,62
%0,5 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,3101	0,0547	82,36
%0,5 TFP, %Alum-pH:4	610	0,3288	0,0598	81,81
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,3354	0,0595	82,26
%0,5 TFP %Tannik Asit-pH:4	610	0,3388	0,0587	82,67
%0, TFP %Alum-pH:6	610	0,3328	0,0669	79,90
%0,5 TFP %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,3273	0,0705	78,46
%0,5 TFP %Tannik Asit-pH:6	610	0,3365	0,067	80,09

Tablo 2. %1 TFP Boya ile Ön Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Ön Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri				
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%1 TFP, %Alum-pH:2	610	0,5766	0,0575	90,03
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,6016	0,0568	90,56
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,5708	0,056	90,19
%1 TFP %Alum-pH:4	610	0,6018	0,0586	90,26
%1 TFP %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,5957	0,0589	90,11
%1 TFP %Tannik Asit-pH:4	610	0,6032	0,0601	90,05
%1 TFP %Alum-pH:6	610	0,4811	0,0621	87,09
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,553	0,0735	86,71
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:6	610	0,5507	0,0772	85,98

Tablo 3. %2 TFP Boya ile Ön Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Eş Zamanlı Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri				
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%2 TFP, %Alum-pH:2	610	1,0113	0,0637	93,70
%2 TFP,, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	1,0423	0,0635	93,91
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	1,0482	0,065	93,80
%2, TFP, %Alum-pH:4	610	1,1073	0,1164	89,49
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	1,0519	0,1089	89,65
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:4	610	0,9128	0,0967	89,41
%2 TFP, %Alum-pH:6	610	1,0431	0,2247	78,46
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	1,0781	0,2574	76,12
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:6	610	1,0696	0,2776	74,05

Tablo 4. %0,5 TFP Boya ile Eş Zamanlı Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Eş Zamanlı Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri				
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%0,5 TFP, %Alum-pH:2	610	0,2728	0,0674	75,29
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,2821	0,0691	75,50
%0,5 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,2793	0,0670	76,01
%0,5 TFP, %Alum-pH:4	610	0,2858	0,0684	76,07
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,2890	0,0678	76,54
%0,5 TFP %Tannik Asit-pH:4	610	0,2843	0,0677	76,19
%0,5 TFP %Alum-pH:6	610	0,2943	0,0717	75,64
%0,5 TFP %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,2873	0,0711	75,25
%0,5 TFP %Tannik Asit-pH:6	610	0,2963	0,0641	78,37

Tablo 5. %1 TFP Boya ile Eş Zamanlı Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Eş Zamanlı Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri				
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi

%1 TFP, %Alum-pH:2	610	0,5094	0,0603	88,16
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,4979	0,0592	88,11
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,5051	0,0571	88,69
%1 TFP %Alum-pH:4	610	0,5153	0,0646	87,46
%1 TFP %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,5180	0,0621	88,01
%1 TFP %Tannik Asit-pH:4	610	0,5108	0,0640	87,47
%1 TFP %Alum-pH:6	610	0,4166	0,0811	80,53
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,4213	0,0815	80,66
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:6	610	0,4171	0,0872	79,09

Tablo 6. %2 TFP Boya ile Eş Zamanlı Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Eş Zamanlı Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri				
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%2 TFP, %Alum-pH:2	610	0,7302	0,0678	90,71
%2 TFP,, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,7092	0,0700	90,13
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,7308	0,0686	90,61
%2, TFP, %Alum-pH:4	610	0,7671	0,1094	85,74
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,7426	0,1208	83,73
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:4	610	0,7659	0,1204	84,28
%2 TFP, %Alum-pH:6	610	0,7879	0,3129	60,29
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,7733	0,3207	58,53
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:6	610	0,7288	0,3367	53,80

Tablo 7. %0,5 TFP Boya ile Son Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Son Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri						
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Öncesi Absorbans	% Boya Çekimi	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%0,5 TFP, %Alum-pH:2	610	0,2564	0,0552	78,47	0,0560	78,16
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,2586	0,0550	78,73	0,0546	78,89
%0,5 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,2562	0,0535	79,12	0,0548	78,61
%0,5 TFP, %Alum-pH:4	610	0,2725	0,0574	78,94	0,0554	79,67
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,2682	0,0580	78,37	0,0549	79,53
%0,5 TFP %Tannik Asit-pH:4	610	0,2659	0,0579	78,22	0,0557	79,05
%0, TFP %Alum-pH:6	610	0,2747	0,1132	58,79	0,0601	78,16
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,2717	0,1188	56,28	0,0596	78,06
%0,5 TFP, %Tannik Asit-pH:6	610	0,2693	0,1275	52,66	0,0625	76,79

Tablo 8. %1 TFP Boya ile Son Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Son Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri						
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Öncesi 2 Absorbans	% Boya Çekimi	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%1 TFP, %Alum-pH:2	610	0,4671	0,0632	86,47	0,0551	88,20
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,4600	0,0608	86,78	0,0554	87,96
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,4709	0,0620	86,83	0,0553	88,26

%1 TFP %Alum-pH:4	610	0,4969	0,1144	76,98	0,0581	88,31
%1 TFP %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,5034	0,1223	75,71	0,0572	88,64
%1 TFP %Tannik Asit-pH:4	610	0,5032	0,1217	75,81	0,0581	88,45
%1 TFP %Alum-pH:6	610	0,4733	0,2549	46,14	0,0738	84,41
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,4914	0,3123	36,45	0,0789	83,94
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:6	610	0,4854	0,3165	34,80	0,0863	82,22

Tablo 9. %2 TFP Boya ile Son Mordanlama Prosesi, Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans

Son Mordanlama Sonrası Absorbans Ölçümleri						
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Öncesi 2 Absorbans	% Boya Çekimi	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%2 TFP, %Alum-pH:2	610	0,8641	0,1321	84,71	0,0685	92,07
%2 TFP,, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	610	0,7908	0,1789	77,38	0,0668	91,55
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:2	610	0,8314	0,1595	80,82	0,0730	91,22
%2, TFP, %Alum-pH:4	610	0,8337	0,3743	55,10	0,1240	85,13
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	610	0,7541	0,4448	41,02	0,1460	80,64
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:4	610	0,8818	0,4750	46,13	0,1219	86,18
%2 TFP, %Alum-pH:6	610	0,8822	0,7608	13,76	0,3347	62,06
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	610	0,9095	0,7615	16,27	0,3432	62,26
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:6	610	0,8992	0,7401	17,69	0,3336	62,90

Tablo 10. Mordansız Boyama Öncesi ve Sonrası Absorbans Ölçümleri

Mordansız Boyama Sonrası Absorbans Ölçümleri				
Numune Adı	Dalga Boyu (nm)	Boyama Öncesi Absorbans	Boyama Sonrası Absorbans	% Boya Çekimi
%0,5TFP -pH:2	610	0,2454	0,0493	79,91
%0,5 TFP -pH:4	610	0,2604	0,0488	81,26
%0,5 TFP -pH:6	610	0,2611	0,0508	80,54
%1 TFP -pH:2	610	0,4711	0,0487	89,66
%1 TFP -pH:4	610	0,4937	0,0502	89,83
%1 TFP -pH:6	610	0,4701	0,0653	86,11
%2 TFP -pH:2	610	0,8934	0,0711	92,04
%2 TFP -pH:4	610	0,8715	0,1043	88,03
%2 TFP -pH:6	610	0,9237	0,2250	75,64

Tablo 11. %0,5 TFP ile Boyanan Kumaşların K/S Değerleri

Numune Adı	Ön Mordanlama Sonrası K/S	Eş Zamanlı Mordanlama Sonrası K/S	Son Mordanlama Sonrası K/S
%0,5 TFP, %Alum-pH:2	0,7812	0,8587	0,8599
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	0,9125	0,8260	0,9101
%0,5 TFP, %Tannik Asit-pH:2	0,8497	0,8211	0,8969
%0,5 TFP, %Alum-pH:4	0,7240	0,7029	0,7255
%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	0,7360	0,7481	0,7531
%0,5 TFP %Tannik Asit-pH:4	0,8095	0,7345	0,7938
%0, TFP %Alum-pH:6	0,6792	0,6556	0,6481

%0,5 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	0,6605	0,6436	0,68171
%0,5 TFP, %Tannik Asit-pH:6	0,6883	0,6641	0,6644

Tablo 12. %1 TFP ile Boyanan Kumaşların K/S Değerleri

Numune Adı	Ön Mordanlama Sonrası K/S	Eş Zamanlı Mordanlama Sonrası K/S	Son Mordanlama Sonrası K/S
%1 TFP, %Alum-pH:2	1,4355	1,3993	1,3067
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	1,4259	1,3070	1,3598
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:2	1,4125	1,2634	1,3463
%1 TFP %Alum-pH:4	1,2989	1,2069	1,204
%1 TFP %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	1,1919	1,2385	1,2157
%1 TFP %Tannik Asit-pH:4	1,2077	1,2532	1,2089
%1 TFP %Alum-pH:6	1,0803	1,0629	1,0597
%1 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	1,0713	1,0769	1,0708
%1 TFP, %Tannik Asit-pH:6	1,0945	1,0858	1,0711

Tablo 13. %2 TFP ile Boyanan Kumaşların K/S Değerleri

Numune Adı	Ön Mordanlama Sonrası K/S	Eş Zamanlı Mordanlama Sonrası K/S	Son Mordanlama Sonrası K/S
%2 TFP, %Alum-pH:2	2,3102	2,2268	2,2232
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:2	2,3192	2,2522	2,1596
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:2	2,3025	2,2009	2,228
%2, TFP, %Alum-pH:4	2,0134	1,8950	1,9242
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:4	1,9775	1,9639	1,9414
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:4	1,9418	1,9307	1,9245
%2 TFP, %Alum-pH:6	1,5777	1,4664	1,4922
%2 TFP, %Fe ₂ SO ₄ -pH:6	1,5730	1,4457	1,4561
%2 TFP, %Tannik Asit-pH:6	1,5871	1,4424	1,5261

Tablo 14. Mordansız Boyama Sonrası Kumaşların K/S değerleri

Numune Adı	K/S Değerleri
%0,5 TFP-pH:2	0,7867
%0,5 TFP-pH:4	0,7636
%0,5 TFP-pH:6	0,6991
%1 TFP - pH:2	1,3441
%1 TFP -pH:4	1,2801
%1 TFP -pH:6	1,0646
%2 TFP -pH:2	2,3269
%2 TFP -pH:4	1,9636
%2 TFP -pH:6	1,6433

3.2. Tartışma

Trifloropirimidin (TFP) reaktif boyarmaddesi ile nylon kumaşın üç farklı proses, mordan ve pH aralığında boyama sonuçları sunulmuştur. Boyama öncesinde pH ayarlanması için McIlvaine tampon çözeltisinden yararlanılmıştır. Boyama öncesi çözeltilerin pH değerleri ölçülerek, mordan ilavesi yapılarak boyama sonrasında da pH ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümler

sonrasında üç proseste de mordan kullanımına bağlı olarak sonuçları etkileyecek kadar yüksek pH değişimi gözlenmemiştir.

TFP reaktif boyarmaddesi kullanarak yapılan boyamalar sonrasında %0,5 boyarmadde konsantrasyonunda boyama sonuçlarının görselleri paylaşılmıştır. Şekil 4'te ön mordanlama sonrası boyama görsellerine bakıldığında pH 6 ile yapılan boyama sonrası, çözeltide kalan absorbe olmamış boyarmadde olduğu görülmektedir. Şekil 5'te %0,5 boyarmadde ile yapılan boyama görsellerine bakıldığında pH 2 ve pH 4'te boyarmadde çekiminin

olduğu, pH 6'da ise boyarmadde çekiminin ön mordanlama prosesine göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Şekil 6'da %0,5 boyarmadde konsantrasyonu ile son mordanlama prosesinde boyama yapılmıştır. Boyama sonrası çözeltilere bakıldığında pH 6'da yapılan boyamalarda, boyarmadde çekimlerinin yeterli olmadığı görülmüştür. Mordansız boyama sonuçlarına bakıldığında %0,5, %1 ve %2 boyama oranlarında yine pH 6'da boyarmadde çekiminin yeterli olmadığı gözlenmiştir (Şekil 7). Şekil 4-6'da %0,5 boyama konsantrasyonu için verilen görsellere benzer şekilde %1 ve %2 boyama konsantrasyonları için sonuçlar elde edilmiştir.

Boyama öncesi ve sonrası absorbans değerleri incelendiğinde %0,5'lik boyarmadde ile boyama sonrasında pH 2 ve 4'te ön mordanlama prosesi ile yapılan boyamalarda, boyarmadde çekiminin fazla olduğu görülmektedir (Tablo 1, Tablo 4, Tablo 7). Boyama sonrası absorbans değerleri incelendiğinde %1'lik boyarmadde konsantrasyonunda yapılan boyamalarda ön mordanlama ile pH 2 ve 4'te yapılan boyamaların daha yüksek boyarmadde çekimi elde edildiği görülmüştür (Tablo 2, Tablo 5, Tablo 8). %2'lik boyarmadde konsantrasyonunda yapılan boyamalarda ön mordanlama ile pH 2'de yapılan boyamaların absorbans değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Tablo 3, Tablo 6, Tablo 9).

Boyama işlemi tamamlanan nylon kumaşların renk ölçümleri reflektans spektrofotometresinde ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda K/S renk derinliği değerleri elde edilmiştir. K/S değerleri arttıkça görsel renk koyuluğu ve renk derinliği artmaktadır. Yapılan ölçümler sonrasında %0,5'lik boyama ile ön mordanlama prosesinde daha yüksek renk derinliği (K/S) elde edilmiştir (Tablo 11). %1'lik boyama yapılan kumaşlarda K/S değerlerine bakıldığında ön mordanlama prosesinde daha yüksek renk derinliği elde edildiği gözlenmiştir (Tablo 12). %2'lik boyarmadde oranında yapılan boyamalarda, kumaşların renk derinliği incelendiğinde ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama prosesi sonrasında kumaşların renk derinliklerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir (Tablo 13).

TFP reaktif grubuna sahip boyarmadde ile mordansız yapılan boyamalar Tablo 10'da verilmiştir. Mordansız ve mordanlı boyamalarda, boyarmadde yüzdeleri dikkate alındığında mordanlama işleminin boyarmadde çekimini arttırdığı gözlenmiştir. Geleneksel literatürde verilen üç mordanlama yöntemi arasında son mordanlama öne çıkıyor olmasına rağmen bu deneysel çalışmada ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama ile daha iyi renklendirmeler elde edilmiştir.

4. Sonuç

Uygulanan üç farklı proses ile nylon kumaşların trifloropirimidin fonksiyonel grubuna sahip mavi reaktif boyarmadde ile boyanması incelenmiştir. Üç farklı pH, proses ve mordan varlığında yapılan çalışmada, mordan kullanımının boyarmadde çekimini arttırdığı gözlenmiştir. Boyama yapılan pH aralıklarına bakıldığında, pH 6'da yapılan boyama sonuçlarında iyi bir fiksasyon gözlenememiştir. Ayrıca kumaşların K/S değerleri dikkate alındığında pH 6 ile yapılan boyamalarda yeterli renk derinliği sağlanamamıştır. En iyi boyama sonuçları genel olarak pH 2 ve 4'te ve Alüminyum Potasyum Sülfat mordanının kullanımında elde edilmiştir. Diğer pH değerleri ile karşılaştırıldığında pH 4'te elde edilen daha iyi renk derinliği (Renk Kuvveti) değerleri Burkinshaw ve Ganghi ([3] – [5]), Soleimani-Gorgani ve Taylor ([8] – [10]) ve Burkinshaw ve ark. [11] çalışmalarında verilen deneysel sonuçlarla uyumludur. e-ISSN: 2148-2683

Bununla beraber literatürdeki çalışmalardan farklı olarak uygulanan pH ve uygulanan yüzde boyarmadde miktarına bağlı olarak fiksasyon değerlerinin geleneksel uygulamalarda elde edilen sonuçlardan farklı olduğu saptanmıştır. Mordan varlığında daha yüksek boyarmadde konsantrasyonunda daha yüksek fiksasyon eldesi yeni bir sonuçtur. Özellikle mordan olarak Tannik Asit harici mordanların kullanılması yeni bir çalışma örneğidir ve yapılan çalışmalar burada verilen deneysel çalışma şartları altında Potasyum Alüminyum Sülfat (Alum) kullanımının daha iyi renk derinliği verebileceğini göstermiştir. Boyama literatüründe geleneksel mordanlama yöntemleri içinde en iyi sonuçların son mordanlama ile elde edilmekte olduğu bilgisine rağmen, yapılan bu deneysel çalışma için en iyi renklendirme değerleri ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlamada elde edilmiştir. Tüm sonuçlara bakıldığında nylonun reaktif boyarmaddeler ile boyanmasında yeni yöntemlerin gelişmesi ile yüksek boyarmadde çekimi sağlanması, farklı uygulamaların tekstil sektöründe kullanılmasında yol açacaktır. Bu bulgulara göre nylon kumaşların TFP reaktif boyarmadde ile boyanmasında en iyi boyama değerleri Potasyum Alüminyum Sülfat (Alum) mordanı kullanımı ile pH 2 ve 4'te ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama ile elde edilebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. (Proje No: FYL-2021-332).

Kaynakça

- Burkinshaw, S.M. (1995). 2. Nylon. In Chemical Principles of Synthetic Fibre dyeing. pp. 77-80. Glasgow: Blackie Academic & Professional.
- Burkinshaw S.M., Ganghi K. (1996). The Dyeing of Conventional Decitex and Microfibre Nylon 6,6 with Reactive Dyes-I. Chlorodifluoropyrimidinyl Dyes. Dyes and Pigments, 32 (2), 101-127.
- Burkinshaw S.M., Ganghi K. (1997a). The Dyeing of Conventional and and Microfibre Nylon 6,6 with Reactive Dyes. Part 2. α -Bromoacrylamido Dyes. Dyes and Pigments, 33 (4), 259-280.
- Burkinshaw S.M., Ganghi K. (1997b). The Dyeing of Conventional and and Microfibre Nylon 6,6 with Reactive Dyes-3. Vinyl Sulphone and Chlortriazine Dyes. Dyes and Pigments, 34 (3), 243-253.
- Burkinshaw S.M., Son Y-A, Bide M.J. (2001). The Application of Heterobifunctional Reactive Dyes to Nylon 6,6: Process Modifications to Achieve High Efficiencies. Dyes and Pigments, 48, 245-251.
- El-Gabry L.K., El-Zawary M.M. (2008). Effect of Tannic Acid on the Dyeing Process of Nylon 6 Fabric with a Cationic Dye. Research Journal of Textile and Apparel, 12 (4), 21-30.
- Lewis D.M., MacDangall W.C. (1998). Dyeing Nylon 6,6 with Vinylsulfone reactive Dyes. Textile Chemist and Colorist, 30 (5), 31-35.
- Rys P., Zollinger H. (1989). Reactive Dye-Fibre Systems. In The Theory of Coloration of Textiles. 2nd Edition, ed. A. Johnson, pp. 428-431. Bradford: Society of Dyers and Colourists.
- Soleimani-Gorgani A., Taylor J.A. (2006a). Dyeing of Nylon with Reactive Dyes. Part 1. The Effect of Changes in Dye Structure on the Dyeing of Nylon with Reactive Dyes. Dyes and Pigments, 68, 109-117.

- Soleimani-Gorgani A., Taylor J.A. (2006b). Dyeing of Nylon with Reactive Dyes. Part 2. The Effect of Changes in Level of Dye Sulphonation on the Dyeing of Nylon with Reactive Dyes. *Dyes and Pigments*, 68, 119-127.
- Soleimani-Gorgani A., Taylor J.A. (2008). Dyeing of Nylon with Reactive Dyes. Part 2. Cationic Reactive Dyes for Nylon. *Dyes and Pigments*, 76, 610-623.
- Sumithra M., Arasi D. (2014). A Novel Method of Dyeing Nylon 6,6 with Cold Brand Reactive Dyes and Assessment of its Fastness Properties. *Journal of Textile Science and Engineering*, S2:002, doi:10.4172/2165-8064.S2-002.



Existence and Uniqueness of Solutions in Some Boundary Conditions for Fractional Differential Systems

Münevver Tuz^{1,*}

^{1,*} Firat University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-9620-247X), mtuz@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1021579)

ATIF/REFERENCE: Tuz, M. (2021). Existence of Solutions for Fractional Differential Systems with Periodic and Anti-periodic Boundary Conditions. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1486-1491.

Abstract

In this article, fractional case of periodic problems is discussed. Considering the time fractional heat equation, inverse problems with periodic and anti-periodic boundary conditions were created. For these problems, the Fourier method was used to obtain existence and uniqueness results. The fractional derivative of a periodic function was analyzed along the real axis, and the periodic behavior of linear systems in case of fractions was investigated.

Keywords: Periodic, Anti-periodic, Fractional Derivative, Fourier Method, Linear System.

Kesirli Diferansiyel Sistemler için Verilen Bazı Sınır Koşullarında Çözümlerin Varlığı ve Tekliği

Öz

Bu makalede, periyodik problemlerin kesirli durumu tartışılmaktadır. Zaman kesirli ısı denklemini göz önünde bulundurularak, periyodik ve anti-periyodik sınır koşulları ile ters problemler oluşturulmuştur. Bu problemler için varlık ve teklik sonuçlarını elde etmek için Fourier yöntemi kullanılmıştır. Periyodik bir fonksiyonun kesirli türevi gerçek eksen boyunca analiz edilmiş ve lineer sistemlerin kesirli durumundaki periyodik davranışı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Periyodik, Anti-periyodik, Kesirli Türev, Fourier Metodu, Lineer Sistem.

* Corresponding Author: mtuz@firat.edu.tr

1. Introduction

The advantages of fractional derivatives in science are that they have more flexibility in the model and provide a unique way for reality to emerge. Because when modeling a physical situation, it is essential not only to depend on the current time, but also to the past of the previous time, that is, the calculation of the fractional derivative of time at a time affects all previous processes with memory and hereditary.

Periodicity of functions constitutes an important situation in physics, technology and other scientific fields (Al-Mdallal, 2009). The influence of periodic functions on linear systems is well known (Ibrahim, 2007). This is true not only for integer systems, but also for fractions (Delavari et al., 2012). It has been proven in some studies that systems defined by some special fractional derivatives cannot have periodic solutions (Bouchaud, 1990 and Podlubny, 1999). However, the existence of periodic results obtained in linear systems has been characterized as a remarkable feature (Metzler, 2002). In the studies carried out so far, the solution of these two problems has still not been clarified. The problem that needs to be examined for an FD is, First, does a periodic signal of FD form a periodic function? The other, what is the relationship between the fractionalness of the linear system and its periodicity? We will consider them in this study. First of all, we give the Fourier series and its properties, as it is related to periodicity, and explain frequently used FD definitions. We show that we can easily obtain periodic signals if the derivative is defined only in R. For the other case, we obtain that systems can only have causal periodic data results if they are integer ordinal. To reach these studies, we will first base some tempered distributions (Mainardi, 2010).

When causality is applied to systems, causal systems result in zero at values where the variable is negative. This situation leads to a troublesome process. To turn this process into a positive step, the Heaviside unit step can be used. Thus, we consider the definition of "causal periodic", which makes a connection with a periodic data. In the light of these considerations, the problem of periodic functions and their derivatives, which forms the basis of the article, has been dealt with and solution steps have been created.

2. Fourier Method and its Application

In this study, the time fractional heat equation with an involution type periodic term is discussed. We want to obtain existence and uniqueness results for these problems with the Fourier method by creating a periodic and antiperiodic inverse problem.

2.1. Periodic Functions and Their Relation to Derivatives

This section explains the basic concepts of periodicity. In the first part, the periodic functions and the steps to solve the problems are determined and the necessary methods are discussed. For this, the Fourier transform and its properties are given. In the next section, the fractional derivatives of the periodic functions and their solutions are given step by step.

Definition. The definition of the periodic function is as follows,

$x_p(t)$, by an identity such that

$$x_p(t) = x_p(t + T), \quad t \in R, T \in R^+,$$

where t represents time, T represents period (Samko, 2003).

Corollary. Let $x_b(t) = x_p(t)$, $t \in (a, b)$ with $b - a = T$.

The truth of the following equation is well known.

$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_b(t - nT), \quad t_n = nT, n \in N \tag{2}$$

Definition. The following series can be written, with the definition being, $c(t), t \in R$,

$$c(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \tag{3}$$

The convergence of the $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ series is shown (Poosch et al., 2011). If we choose delta like this,

$$x_b(t) = x_p(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \tag{4}$$

$*$ is called the convolution operation and corresponds to

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(t - \tau) d\tau.$$

To calculate fractional derivatives, we start from the linearity of its operators. We try to calculate the solution by taking the Eq. (2) into consideration and obtaining the terms of fractional derivatives,

$$x_p^{(\alpha)}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_b^{(\alpha)}(t)(t - nT)$$

From the definition of convolution,

$$x_p^{(\alpha)}(t) = x_b^{(\alpha)}(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

The significance of this approach is that it specifies a function on which only derivatives defined will be useful. The point to note here is that although $x_b(t)$ is finite, the derivative of $x_b(t)$ can no longer be expected to be finite. This can be proved by important fractional derivatives formulations such as Grünwald–Lenikov, Riemann–Liouville, Liouville, Caputo (Podlubny, 1999).

2.2. Fourier Method

We define the Fourier transform using the shift property as follows,

$$C(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) e^{in\omega t}, \tag{5}$$

where ω is the angular frequency. If taken as

$$C(\omega) = F\{c(t)\}, \text{ It can be called the Fourier series}$$

$$C(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\tau) \tag{6}$$

where $\tau T = 2\pi$ is (Bochner, 1949). If the function is a periodic function with a period T, the Fourier transform is also periodic and has a period

$\tau = T/2\pi$. If we combine the Fourier transform and convolution, we get

$$X_p(\omega) = X_b(\omega) \frac{T}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\tau)$$

$$= \frac{T}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_b(\omega) \delta(\omega - n\tau).$$

For some functions f, it gives and from here $f(t)\delta(t - a) = f(a)\delta(t - a)$ and we deduce

$$X_p(\omega) = 2\pi \frac{T}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_b(n\tau) \delta(\omega - n\tau)$$

and, by inversion

$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_b(n\tau) e^{-in\frac{2x}{T}t}. \tag{7}$$

its terar with the same periods is represented by the Fourier series, and is expressed as a series (7). The resulting Fourier series defines a function that is periodic in the whole real axis (Tapdigoglu, 2019).

In our study based on the Fourier method, we will consider the relationship we will establish between the perturbative term of the evolution type according to the space variable and the heat equation as an inverse problem.

Let's define the heat equation as

$$D_t^\alpha u(x, t) - u_{xx}(x, t) + \varepsilon u_{xx}(1 - x, t) = f(x), \tag{8}$$

for $(x, t) \in \Omega = \{0 < x < 1, 0 < t < T < \infty\}$, $0 < \alpha < 1$ where D_t^α is the Caputo derivative and ε is a real number.

we will obtain $(u(x, t), f(x))$ which are smooth functions, we will satisfy Eq. (8) under the conditions given below,

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad x \in [0, 1], \tag{9}$$

$$u(x, T) = \psi(x), \quad x \in [0, 1], \tag{10}$$

and periodic boundary conditions

$$u(0, t) = u(1, t), \quad t \in [0, T], \tag{11}$$

$$u_x(0, t) = u_x(1, t),$$

anti-periodic boundary conditions

$$u(0, t) = -u(1, t), \quad t \in [0, T], \tag{12}$$

$$u_x(0, t) = -u_x(1, t),$$

$(u(x, t), f(x))$, where $u \in C^2(\bar{\Omega})$ and $f \in C([0, 1])$.

Now here we will use the Fourier method to solve the P and AP problems, with this application Eq. (8) poses a spectral problem.

For P and AP problems we use the following theorems.

Theorem. Let $|\varepsilon| < 1$, where $\varphi, \psi \in C^3[0, 1]$ and where $\varphi^{(i)}(0) = \varphi^{(i)}(1)$, $\varphi_x^{(i)}(0) = \varphi_x^{(i)}(1)$ and $\psi^{(i)}(0) = \psi^{(i)}(1)$, $\psi_x^{(i)}(0) = \psi_x^{(i)}(1)$, $i = 0, 1, 2$. Then problem P has only one solution and can be written as,

$$u(x, t) = \varphi(x)$$

$$+ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{1-E_{\alpha,1}(- (1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha)}{1-E_{\alpha,1}(- (1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha)} \right) \sin(k+\frac{1}{2})x}{\left(\frac{1-E_{\alpha,1}(- (1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha)}{1-E_{\alpha,1}(- (1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha)} \right)^2} (\varphi_{1k}^{(2)} - \psi_{1k}^{(2)}) +$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{1-E_{\alpha,1}(- (1+\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha)}{1-E_{\alpha,1}(- (1+\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha)} \right) \sin kx}{\left(\frac{1-E_{\alpha,1}(- (1+\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha)}{1-E_{\alpha,1}(- (1+\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha)} \right)^2} (\varphi_{2k}^{(2)} - \psi_{2k}^{(2)}), \tag{13}$$

$$f(x) = -\varphi''(x) + \varepsilon \varphi''(1-x)$$

$$+ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{(1-\varepsilon)(\varphi_{1k}^{(2)} - \psi_{1k}^{(2)})}{1-E_{\alpha,1}(- (1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha)} \right) \sin\left(k + \frac{1}{2}\right)x}{\left(\frac{(1-\varepsilon)(\varphi_{1k}^{(2)} - \psi_{1k}^{(2)})}{1-E_{\alpha,1}(- (1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha)} \right)}$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{(1+\varepsilon)(\varphi_{2k}^{(2)} - \psi_{2k}^{(2)})}{1-E_{\alpha,1}(- (1+\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha)} \right) \sin kx}{\left(\frac{(1+\varepsilon)(\varphi_{2k}^{(2)} - \psi_{2k}^{(2)})}{1-E_{\alpha,1}(- (1+\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha)} \right)}, \tag{14}$$

where

$$\varphi_{1k}^{(2)} = \left(\varphi''(x), y_{k+\frac{1}{2}}^P \right), \quad \varphi_{2k}^{(2)} = \left(\varphi''(x), y_k^P \right),$$

$$\psi_{1k}^{(2)} = \left(\psi''(x), y_{k+\frac{1}{2}}^P \right), \quad \psi_{2k}^{(2)} = \left(\psi''(x), y_k^P \right),$$

and $E_{\alpha,\beta}(\lambda t)$ is the Mittag-Leffler type function,

$$E_{\alpha,\beta}(z) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{z^m}{\Gamma(\alpha m + \beta)}.$$

Theorem. Let $|\varepsilon| < 1$, where $\varphi, \psi \in C^3[0, 1]$ and where $\varphi^{(i)}(0) = -\varphi^{(i)}(1)$, $\varphi_x^{(i)}(0) = -\varphi_x^{(i)}(1)$ and $\psi^{(i)}(0) = -\psi^{(i)}(1)$, $\psi_x^{(i)}(0) = -\psi_x^{(i)}(1)$, $i = 0, 1, 2$. Then the solution of problem AP exists, is unique and it can be written in the form

$$\begin{aligned}
 u(x, t) &= \varphi(x) + \frac{t}{T}(\psi_0 - \varphi_0) \\
 &+ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1-E_{\alpha,1}(-(1-\varepsilon)(2k)^2 t^\alpha)) \cos kx}{(1-E_{\alpha,1}(-(1-\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha)) (4k)^2} (\psi_{1k}^{(2)} - \varphi_{1k}^{(2)}) \\
 &+ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(1-E_{\alpha,1}(-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 t^\alpha)) \cos(k+\frac{1}{2})x}{(1-E_{\alpha,1}(-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha)) (k+\frac{1}{2})^2} (\psi_{2k}^{(2)} - \varphi_{2k}^{(2)}), \quad (15)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f(x) &= -\varphi''(x) + \varepsilon \varphi''(1-x) \\
 &+ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{((1-\varepsilon)(\varphi_{1k}^{(2)} - \psi_{1k}^{(2)}))}{(1-E_{\alpha,1}(-(1-\varepsilon)(2k)^2 T^\alpha))} \cos kx \\
 &+ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{((1+\varepsilon)(\varphi_{2k}^{(2)} - \psi_{2k}^{(2)}))}{(1-E_{\alpha,1}(-(1+\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2 T^\alpha))} \cos(k+\frac{1}{2})x, \quad (16)
 \end{aligned}$$

where

$$\varphi_0 = (\varphi_0, y_0^{AP}), \varphi_{1k}^{(2)} = (\varphi''(x), y_k^{AP}), \varphi_{2k}^{(2)} = (\varphi''(x), y_{k+\frac{1}{2}}^{AP}),$$

$$\psi_0 = (\psi_0, y_0^{AP}), \psi_{1k}^{(2)} = (\psi''(x), y_k^{AP}), \psi_{2k}^{(2)} = (\psi''(x), y_{k+\frac{1}{2}}^{AP}).$$

2.3. Existence of Solution of Periodic and Anti-Periodic Problems

We will first prove the problem P. It can be proved in a similar way that the solution of the AP problem also exists. The eigenvalues of the problem (8)- (11) and their corresponding eigenfunctions are as follows:

$$\lambda_{k+\frac{1}{2}}^P = (1 + \varepsilon)2k^2, \quad k \in N,$$

$$\lambda_k^P = (1 - \varepsilon)2k^2, \quad k \in N_0,$$

with the corresponding eigenfunctions

$$y_0^P = 1,$$

$$y_{k+\frac{1}{2}}^P = \sqrt{2} \sin(2kx), \quad k \in N,$$

$$y_{2k}^P = \sqrt{2} \cos(2kx), \quad k \in N,$$

The problem (8)-(12) has the following eigenvalues.

$$\lambda_{k+\frac{1}{2}}^{AP} = (1 + \varepsilon)(k + \frac{1}{2})^2, \quad k \in N_0,$$

$$\lambda_k^{AP} = (1 - \varepsilon)(k + \frac{1}{2})^2, \quad k \in N_0,$$

and the corresponding eigenfunctions

$$y_{2k+1}^{AP} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos(k + \frac{1}{2})x, \quad k \in N_0,$$

$$y_k^{AP} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sin(k + \frac{1}{2})x, \quad k \in N_0.$$

The P problem creates an orthonormal basis in $L^2(0,1)$, so the problem (8)- (11) is a self adjoint problem and corresponds to the solution function below.

$$u(x, t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_k(t) \sin(k + \frac{1}{2})x + \sum_{k=1}^{\infty} v_k(t) \sin kx$$

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} f_k^1 \sin(k + \frac{1}{2})x + \sum_{k=1}^{\infty} f_k^2 \sin kx$$

where $f_k^1, f_k^2, u_k(t), v_k(t)$ are unknown. If we substitute (11) and (12) in (8) here, we find the constants and functions as follows, $u_k(t), v_k(t)$ and the constants f_k^1, f_k^2 :

$$D^\alpha u_k(t) + (1 - \varepsilon)(k + \frac{1}{2})^2 u_k(t) = f_k^1,$$

$$D^\alpha v_k(t) + (1 + \varepsilon)2k^2 v_k(t) = f_k^2,$$

We obtain

$$u_k(t) = \frac{f_k^1}{(1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2} + C_{1k} E_{\alpha,1} \left(-(1-\varepsilon) \left(k + \frac{1}{2}\right)^2 t^\alpha \right),$$

$$v_k(t) = \frac{f_k^2}{(1+\varepsilon)k^2} + C_{2k} E_{\alpha,1} \left(-(1+\varepsilon)2k^2 t^\alpha \right),$$

$C_{1k}, C_{2k}, f_k^1, f_k^2$ are unknown constants. To find these constants, we consider the conditions (11). the coefficients of the expansions being $\varphi(x)$ and $\psi(x)$

$$\varphi_{1k} = \sqrt{2} \int_0^1 \varphi(x) \sin(k + \frac{1}{2})x dx,$$

$$\varphi_{2k} = \sqrt{2} \int_0^1 \varphi(x) \sin(kx) dx,$$

$$\psi_{1k} = \sqrt{2} \int_0^1 \psi(x) \sin(k + \frac{1}{2})x dx,$$

$$\psi_{2k} = \sqrt{2} \int_0^1 \psi(x) \sin(kx) dx,$$

first we find C_{1k} ,

$$u_k(0) = \frac{f_k^1}{(1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2} + C_{1k} = \varphi_{1k},$$

$$u_k(t) = \frac{f_k^1}{(1-\varepsilon)(k+\frac{1}{2})^2} + C_{1k} E_{\alpha,1} \left(-(1-\varepsilon) \left(k + \frac{1}{2}\right)^2 T^\alpha \right) = \psi_{1k},$$

$$\varphi_{1k} - C_{1k} + C_{1k} E_{\alpha,1} \left(-(1-\varepsilon) \left(k + \frac{1}{2}\right)^2 T^\alpha \right) = \psi_{1k}.$$

Later

$$C_{1k} = \frac{\varphi_{1k} - \psi_{1k}}{1 - E_{\alpha,1} \left(-(1-\varepsilon) \left(k + \frac{1}{2} \right)^2 T^\alpha \right)}$$

It is represented as a fixed f_k^1 ,

$$f_k^1 = (1 - \varepsilon) \left(k + \frac{1}{2} \right)^2 \varphi_{1k} - (1 - \varepsilon) \left(k + \frac{1}{2} \right)^2 C_{1k}$$

Now we find C_{2k} ,

$$v_k(0) = \frac{f_k^2}{(1+\varepsilon)2k^2} + C_{2k} = \psi_{2k},$$

$$v_k(T) = \frac{f_k^2}{(1+\varepsilon)k^2} + C_{2k} e^{-(1+\varepsilon)2k^2T} = \psi_{2k},$$

$$\psi_{2k} - C_{2k} + C_{2k} e^{-(1+\varepsilon)2k^2T} = \psi_{2k}.$$

later,

$$C_{2k} = \frac{\varphi_{2k} - \psi_{2k}}{1 - E_{\alpha,1} \left(-(1 + \varepsilon) 2k^2 T^\alpha \right)}$$

For fixed we found f_k^2 ,

$$f_k^2 = (1 - \varepsilon) \left(k + \frac{1}{2} \right)^2 \varphi_{2k} - (1 - \varepsilon) \left(k + \frac{1}{2} \right)^2 C_{2k}$$

$$u(x, t) = \varphi(x)$$

$$+ \sum_{k=0}^{\infty} C_{1k} E_{\alpha,1} \left(-(1 - \varepsilon) \left(k + \frac{1}{2} \right)^2 t^\alpha \right) - 1 \sin \left(k + \frac{1}{2} \right) x$$

$$+ \sum_{k=1}^{\infty} C_{2k} E_{\alpha,1} \left(-(1 + \varepsilon) 2k^2 t^\alpha \right) - 1 \sin kx.$$

Therefore, this solution found is recorded as the solution of Eq. (8). Likewise, the solution of problem (9)- (11) is found in a similar way.

3. Results and Discussion

In response to the questions of whether the fractional derivatives of a periodic signal is also a periodic function or does the linear fractional system have periodic data, we saw in this study. If the derivative is defined only in R, we can easily obtain periodic signals. For the second problem, we have seen that systems can only have periodic data results if they are integer order.

When causality is applied to systems, causal systems result in zero at values where the variable is negative. This situation causes a troublesome process. We want to turn this process into a positive step. Thus, considering the Heaviside unit step principle and the causal periodic definition, which makes the connection with a periodic data, we can evaluate the periodic data results in case the systems are integer or fractional order.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, periodic functions are considered as fractions. Liouville and Caputo, which are fractional derivatives frequently *e-ISSN: 2148-2683*

used in the literature, have been used. It has been shown that the fractional derivative of a periodic function defined along the real axis is also periodic. It has also been proven that derivatives of these functions are not periodic in some cases. Also, fractional periodic behavior of linear systems is discussed. It has been shown that when certain derivatives are applied to such systems, their periodicity does not change. It is concluded that only integer ordered linear systems can have sinusoidal periodic oscillations.

The existence and uniqueness of the solution in fractional periodic and antiperiodic inverse problems has been proven by the Fourier method. The importance of this in the literature is that the existence theorem tells us that this problem has a solution to look for, it will prevent the loss of effort and time to be spent to find this special solution. It contributes to science in this respect.

5. Acknowledge

We would like to express our gratitude to the anonymous reviewers and editors for their valuable comments and suggestions which improve the quality of present paper.

References

Al-Mdallal, Q. M., (2009). An Efficient Method for Solving Fractional Sturm–Liouville Problems, *Chaos Solitons Fractals*, Vol.40, 183–189.

Boroomand, A., Menhaj, M.B., (2009). Fractional-Order Hopfield Neural Networks, *Advances in Neuro-Information Processing*, 5506, Part I, 883-890.

Kilbas, A. A., Srivastava H. M., Trujillo, J. J., (2006). *Theory and Application of Fractional Differential Equations*, Elsevier Science, Amsterdam.

Delavari, H. et al., (2012). Stability Analysis of Caputo Fractional-Order Non-Linear Systems Revisited, *Non-Linear Dynamics*, Vol. 67, No. 4, 2433-2439.

Bouchaud, J. P., Georges, A., (1990). Anomalous Diffusion in Disordered Media: Statistical Mechanisms, Models and Physical Applications, *Phys. Rep.*, Vol. 195(4-5), 127–293.

Klimek, M., Agrawal, O. P., (2013). Fractional Sturm–Liouville Problem, *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 66, No. 5, 795–812.

Podlubny, I., (1999). *Fractional Differential Equations*, Mathematics in Science and Engineering, Academic Press, Vol. 198, San Diego, California, USA.

Zayernouri, M., Karniadakis, G. E., *Fractional Sturm-Liouville Eigen-Problems, Theory and Numerical Approximation*, *Journal of Computational Physics*, Vol. 252, 495–517.

Metzler, R., Klafter, J., (2002). The Random Walk’s Guide to Anomalous Diffusion a Fractional Dynamics Approach, *Phys. Rep.*, Vol. 339, No. 1, 67–90.

Bochner, S., Chandrasekharan, K., (1949). *Fourier Transforms*, Princeton University Press.

Blaszczyk, T., Ciesielski, M., (2014). Numerical Solution of Fractional Sturm-Liouville Equation in Integral Form, *Fractional Calculus and Applied Analysis*, Vol.17, No. 2, 307–320.

Mainardi, F., (2010). *Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity, An Introduction to Mathematical Models*, World Scientific, Singapore, 368, 2010.

Ibrahim, R., Momani, S., (2007). On the Existence and Uniqueness of Solutions of a Class of Fractional Differential Equations, *J. Math. Anal. Appl.*, Vol. 334, No. 1, 1–10.

- Tapdıgoglu, R., (2019). Problemes inverses pour des equations differentielles aux derives fractionnaires, Docteur de thesis, Universite de la Rochelle, France.
- Samko, S. G., (2003). Fractional Weyl–Riesz Integro Differentiation of Periodic Functions of Two Variables Via the Periodization of the Riesz Kernel, *Appl. Anal. J.*, Vol. 82, No. 3, 269–299.
- Pooseh, S., Rodrigues, H. S., Torres, D. F. M., (2011). Fractional Derivatives in Dengue Epidemics, *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1389, 739–742.



MicroRNAs in Molecular Technology to Address Global Disease Bench to Bedside Research

Noor UL Ain Akram¹, Zainab Shahzor¹, Iram Mushtaq¹, Ayesha Ishtiaq¹, Khadam Hussain¹, Iram Murtaza^{1*}

¹ Signal transduction Laboratory, Department of Biochemistry, Faculty of Biological Sciences, Quaid-i-Azam University, Islamabad, 45320, Pakistan.

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011033)

ATIF/REFERENCE: Akram, N. U. A., Shahzor, Z., Mushtaq, I., Ishtiaq, A., Hussain, K. & Murtaza, I. (2021). MicroRNAs in Molecular Technology to Address Global Disease Bench to Bedside Research. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1492-1500.

Abstract

MicroRNAs a category of noncoding RNA dysregulations are involved in numerous pathological conditions including cancer, diabetes, heart diseases, immunological disorders, neurological diseases and many metabolic diseases. Advancement in the knowledge of microRNA applications led to the diagnosis of some early markers of diseases. Currently innovative molecular biotechnology is holding promising future in the field of application of microRNA silencers and inhibitors, replacers and over expressers for tackling life threatening diseases. RNA seq libraries of mega patients groups in the field of cancer include the expression profile of multiple microRNAs but there is need of time to develop such libraries of miRNAs in other diseases too. It will facilitate scientist in future to judge the perspective of microRNA applications in multiple clinical scenarios by simple bioinformatics analysis.

Keywords – microRNAs, diagnostic markers, applications

Küresel Hastalık Tezgâhından Başucu Araştırmasına Yönelik Moleküler Teknolojideki mikroRNA'lar

Öz

MikroRNA'lar, kodlamayan RNA düzensizliklerinin bir kategorisi, kanser, diyabet, kalp hastalıkları, immünolojik bozukluklar, nörolojik hastalıklar ve birçok metabolik hastalık dahil olmak üzere çok sayıda patolojik durumda yer alır. MikroRNA uygulamaları bilgisindeki ilerleme, bazı erken hastalık belirteçlerinin teşhisine yol açtı. Halihazırda yenilikçi moleküler biyoteknoloji, yaşamı tehdit eden hastalıklarla mücadele için mikroRNA susturucuları ve inhibitörleri, ikame ediciler ve aşırı ifade edicilerin uygulanması alanında gelecek vaat ediyor. Kanser alanındaki mega hasta gruplarının RNA dizi kütüphaneleri, çoklu mikroRNA'ların ekspresyon profilini içerir, ancak diğer hastalıklarda da bu tür mikroRNA kütüphanelerini geliştirmek için zamana ihtiyaç vardır. Gelecekte bilim adamlarının basit biyoinformatik analizi ile çoklu klinik senaryolarda mikroRNA uygulamalarının perspektifini yargılamasını kolaylaştıracaktır.

Anahtar Kelimeler: mikroRNA'lar, teşhis belirteçleri, uygulamalar.

* Prof. Dr. Iram Murtaza; (iramch@qau.edu.pk) orcid.org/0000-0001-8092-5211

Introduction

Non-coding RNAs are the highly functional and vibrant nucleic acids involved in various physiological and pathological processes of cellular differentiation, growth and cell cycle regulation, immunity, stress response, angiogenesis, nervous system development and acts as biomarkers in identification of many diseases [1]. These small RNA molecules are referred to as micro RNAs (mi-RNAs) regulate the process of RNA interference (RNAi) which results in gene silencing or translational repression and hence regulates the expression of genes [2]. Numerous researches have been conducted that show the association of microRNAs with several pathologies [3, 4]. Cancer and cardiovascular diseases are the leading cause of mortality worldwide. Despite of the vast basic and clinical research on respective fields, it still tops in causing morbidity and mortality [5, 6]. Cancer is characterized by uncontrolled cell division and proliferation [7]. Cardiac hypertrophy is a condition of abnormal cardiomyocyte enlargement accompanied by ventricular wall thickening [8]. Various bioinformatics tools are used for identification of novel molecular therapeutic interventions for the treatment these diseases [9, 10]. We have aimed to investigate the role of different micro RNAs in regulating the expression of different biomarkers involved in pathogenesis of diseases progression. National Centre of Biotechnology Information (NCBI) gene testing registry (GTR) was used to extract the names of the genes involved in cancer and cardiac hypertrophy. Target Scan human (7.2.2018) predicted the miRNA targets for all the genes. Some novel miRNA and gene relations have been predicted, directs us to develop new miRNA biomarkers for the diagnosis of cancer and cardiac hypertrophy.

Materials and Method

A- Selection of genes from National Centre of Biotechnology Information (NCBI) gene testing registry (GTR)

The National Centre for Biotechnology Information (NCBI) is a database which stores the information related to biomedicine and biotechnology. It gathers the information from many other databases including NCBI epigenomics and PubMed. NCBI houses the information regarding the diseases and the genes involved in the disease. We accessed NCBI webpage and searched for cancer and cardiac hypertrophy genes sequencing panel (Figure 1A).

B- Insilico prediction of micro-RNA target genes through Target Scan

The bases of miRNA target prediction vary in different softwares. miRTarBase, miRDB, miRWalk, miRGator [11], miRSystem [12], are the tools which are used for the prediction of mi-RNA targets and are most widely used softwares as they help in comparing the data from various other popular tools by detailed statistical analysis. SVMicrO [13], miRanda [14], PITA [15] and TargetScan [16] are the most widely used popular mi-RNA prediction tools.

Target Scan is one of the widely used softwares for predicting miRNA targets. It predicts the miRNA targets by searching the conserved sites (Figure 1B). Amongst these

conserved sites, 8mer, 7mer and 6mer sites are considered which match a specific region in the miRNA known as seed region. We filtered further based on conservation of miRNA among three species (human, rat and mouse) and 8 nt target analysis (Figure 1C). It also provides with the percentile score and context ++ scores which help in predicting authenticity of the data.

The webpage of target scan softwares opens with the options of either entering the gene name or the miRNA name to search into the database for the relative targets. We used target scan software and entered the names of all the genes involved in the formation of cancer and cardiac hypertrophy as reported by NCBI. We selected the specie (human, rats and mouse) and then we proceeded by entering the names of our genes and obtained the details of miRNA targets for various sites. We also used the alternative method by entering the names of our miRNAs in the given second bar and from there on we got the detailed overview of the genes that have the same miRNA targets, and we found our respective genes from the whole given data and then found the details of the conserved sites and position of miRNAs.

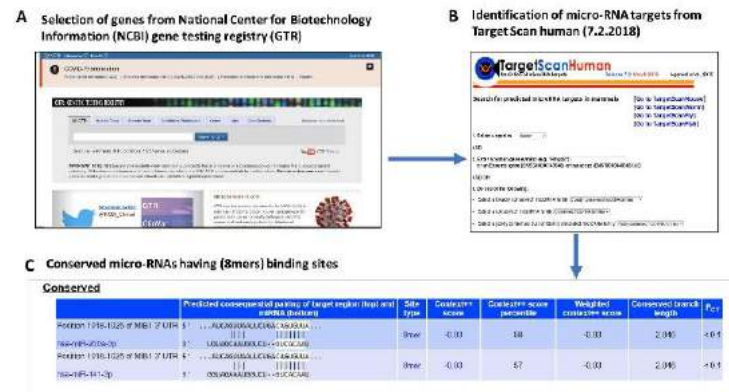


Fig. 1. Bioinformatic tool analysis A) Selection of genes from NCBI (GTR) B) Predicted miRNA through target scan C) Conserved miRNA having (8mers) binding sites.

Results

Commonly expressed miRNAs and regulated target genes involved in cancer and cardiac hypertrophy

We have examined 24 micro RNAs involved in both cancer and cardiac hypertrophy (Figure 2). For Instance, miR-30-5p is thought to be major player in regulations of genes function in cancer and cardiac hypertrophy. TSC1(Tuberous Sclerosis 1 Protein) is a tumour suppressor gene, and play role in development of vascular tissue [17]. Its expression is regulated by miR-30-5p (Position: 500-506 3' UTR, Chr:6). ACTC1 (Actin Alpha Cardiac Muscle 1), Position: 105-112 3' UTR, Chr:6 [18], ABCC9 (ATP Binding Cassette Subfamily C Member 9) Position 2962-2969 3' UTR, Chr:6 [19], and MIB1(MIB E3 Ubiquitin Protein Ligase 1) Position 1370-1377 3' UTR, Chr:6 [20] are biomarkers involved in cardiac hypertrophy and are regulated by miR-30-5p. The miR-26-5p (Position: 1261-2626 3'UTR, Chr:10), which is a target for PTEN gene is associated with breast cancer [21].

The miR-218-5p (Position: 417-423 3'UTR, Chr: 10), which is a target of the RET gene is involved mainly gastric cancers [22], bladder cancer and cardiovascular disorders [23, 24]. Many others micro RNAs and their targets are enlisted in (Figure 2).

miRNAs and regulated target genes cardiac hypertrophy

We have examined 26 genes involved in progression of cardiac hypertrophy regulated by micro RNAs having 8-nt binding seed region. (Figure 3A).

miRNA-153-3p	PTCH1, NEBL
miRNA-155-5p	SMARCA4, MYPN
miRNA-141-3p	TSC1, PRKAR1A, MIB1
miRNA-15-5p	RET, MIB1
miRNA-218-5p	NF2, CDC73, LAMP2
miRNA-27-3p	TSC1, EYA4, NEBL
miRNA-124-3p	DICER, EYA4
let-7-5p/miRNA-98-5p	TP53, DMD
miRNA-101-3p	APC, CAV3
miRNA-7-5p	RB1, ACTC1
miRNA-29a-3p	PTEN, TPM1
miRNA-144-3p	CDC73, TTN, DMD, PRDM16
miRNA-21-5p	MSH2, VCL
miRNA-124-3p	DICER, RYR2
miRNA-15-5p	RET, NF1, RAF1, EYA4, NEBL
miRNA-128-3p	RET, NF1, NEBL
miRNA-200	CDC73, MIB1, ABCC9
miRNA-203a-3p	PHOX2B, APC, DICER, PTCH1, LAMP2
miRNA-19a-3p	PTEN, PLNC
miRNA-9-5p	CDC73, FKTN, MYPN
miRNA-25-3p	TSC1, DSC2
miRNA-22-3p	PTEN, CAV3
miRNA-30-5p	TSC1, ACTC1, ABCC9, MIB1
miRNA-137	MAX1, ABCC9, PDLIM3

Fig. 2: List of common micro RNAs involved in cancer and cardiac hypertrophy. White color represents genes targets involved in cancer. Yellow color represents genes targets involved in cardiac hypertrophy.

MIB1 (E3 Ubiquitin-Protein Ligase MIB1) [25] expression is regulated by more than 12 micro RNAs, PRDM16 (MDS1/EVI1-Like Gene 1) [26] is regulated by 11 micro RNAs and NEBL is regulated by 10 micro RNAs. We have presented the graphical representation of all important genes and their respective 8-nt micro RNAs (Figure 3A).

We have also presented different genes targets regulated by more than one number of micro RNAs (Figure 3B), Table 1. MIB1 expression is regulated by 10 micro RNAs, PRDM16 by 7 micro RNAs, and RYR2 by 7 micro RNAs.

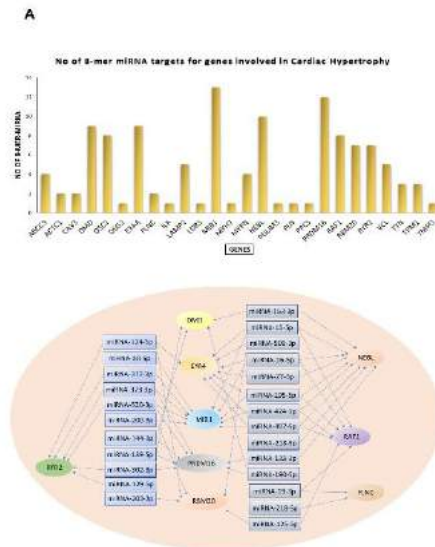


Fig. 3: miRNA targets of genes involved in cardiac hypertrophy A) Graphical representation of gene targets regulated by 8-nt miRNAs B) Genes regulated by more than one number of miRNAs

miRNAs and regulated target genes involved in cancer

We have examined 28 genes involved in cancer regulated by more than one micro RNAs having 8-nt binding sites with their respective target genes (Figure 4A). NF1[27], CDC 37 [28] APC [29] are regulated by 7 micro RNAs and PTEN [30] is regulated by 8 micro RNAs. We have also presented different genes targets regulated by more than one number of micro RNAs (Figure 4B). Different genes targets regulated by multiple micro RNAs are shown in Table 2. The miR-155-5p (Position: 251-257 3'UTR, Chr: 1), found as a target of the CDC73 gene promotes the process of autophagy in the case of cervical cancers [31]. The miR-190-5p (Position: 90-96 3'UTR, Chr: 12), found as a target of CDC73 is not reported to play any direct role in causing endocrine neoplasia, however, it seems to affect the metabolic pathways [32]. The miR-148 (Position: 1144-1150 3'UTR, Chr: 14), found as a target of MAX1 gene, upregulation of miR-148 leads to reduced inflammation [33]. The miR-34/449-5p (Position: 413-419 3'UTR, Chr: 1), which is a target of SDHC gene is involved in causing head and neck cancer [34]. The miR-802 (Position: 29-36 3'UTR, Chr: 11), which is a target of SDHD is reported to be linked with the suppression of gastric cancer [35]. The miR-17-5p (Position:515-522 3'UTR, Chr: 2), which is a target of TMEM127 gene is linked with the hepatocellular carcinoma [36]. The miR-122-5p (Position:200-206 3'UTR, Chr: 17), which is a target of TP53 gene is linked osteosarcoma [37], neuronal damage and many other cancers. The miR-223-3p (Position: 146-152 3'UTR, Chr: 3), which is a target of VHL gene is reported to be linked with thyroid carcinoma and it is a potent marker for identifying low grade thyroid carcinoma.

Table. 1 List of miRNAs targeting different genes involved in Cardiac hypertrophy

S. No	Putative Target Gene	miRNA
1	ABCC9	miRNA-137, miRNA-30-5p, miRNA-200-3p, miRNA-429
2	ACTC1	miR-30-5p, miR-7-5p
3	CAV3	miR-22-3p, miR-101-3p
4	DMD	miR-153-3p,miR-144-3p,miR-142-5p,miR-139-5p, miR-190-5p,let-7-5p,miR-98-5p,miR-4500,miR-4458
5	DSC2	miR-25-3p, miR-205-5p, miR-32-5p,miR-92-3p,miR-363-3p,miR-367-3p,miR-148-3p,miR-152-3p
6	EYA4	miR-506-3p, miR-145- 5p, miR-124- 3p, miR-27- 3p, miR-15- 5p, miR-16- 5p, miR-195- 5p, miR-424- 5p, miR-497- 5p
7	FLNC	miR-19-3p, miR-218- 5p
8	ILK	miR-542-3p
9	LAMP2	miR-203-3p, miR-183- 5p, miR-365- 3p, miR-218- 5p, miR-140- 5p
10	LDB3	miR-205-5p
11	MIB1	miR-200-3p, miR-141- 3p, miR-15- 5p, miR-16- 5p, miR-195- 5p, miR-424- 5p, miR-497- 5p, miR-30- 5p, miR-302- 5p, miR-372- 3p, miR-373- 3p, miR-520- 3p, miR-30- 5p
12	MYPN	miR-9-5p, miR-24- 3p, miR-129- 5p, miR-155- 5p
13	NEBL	miR-128-3p, miR-15- 5p, miR-16- 5p, miR-195- 5p, miR-424- 5p, miR-497- 5p, miR-133- 3p, miR-218- 5p, miR-27- 3p, miR-153- 3p
14	PDLIM3	miR-137
15	PLN	miR-425-5p
16	PRDM16	miR-133-3p, miR-144- 3p, miR-139- 5p, miR-96- 5p, miR-1271- 5p, miR-219- 5p, miR-302- 3p, miR-372- 3p, miR-373- 3p, miR-520- 3p, miR-190- 5p,
17	RAF1	miR-15-5p, miR-16- 5p, miR-195- 5p, miR-424- 5p, miR-497- 5p, miR-19- 3p, miR-125- 5p, miR-7- 5p
18	RBM20	miR-125-5p, miR-124- 3p, miR-506- 3p, miR-217, miR-26- 5p, miR-200- 3p, miR-203- 3p
19	RYR2	miR-124-3p, miR-302- 3p, miR-372- 3p, miR-373- 3p, miR-520- 3p, miR-455- 3p, miR-129- 5p
20	VCL	miR-21-5p, miR-590- 5p, miR-193- 5p, miR-103- 3p, miR-107
21	TTN	miR-144-3p, miR-451, miR-183- 5p
22	TPM1	miR-29-3p, miR-183- 5p, miR-142- 3p
23	TMPO	miR-139-5p

Table. 2 List of miRNAs targeting different genes involved in Cancer

S. NO	PUTATIVE TARGET GENE	MIRNAS
1	MAX	miRNA-137
2	SDHC	miRNA-365-3p
3	MSH2	miRNA-21-5p
4	SMARCB1	miRNA-1-3p
5	SMARCA4	miRNA-155-5p, miRNA-489-3p
6	Tp53	let-7-5p, miRNA-150-5p
7	AIP	miRNA-199-5p, miRNA-204-5p
8	RET	miRNA-15-5p, miRNA-128-3p
9	SUFU	miRNA-129-3p, miRNA-194-5p
10	PHOX2B	miRNA-203a-3p, miRNA-204-5p
11	NF2	miRNA-489-3p, miRNA-218-5p
12	CDKN1B	miRNA-142-3p, miRNA-221-3p, miRNA-24-3p
13	SDHD	miRNA-802, miRNA-204-5p, miRNA-23-3p
14	VHL	miRNA-204-5p, miRNA-142-5p, miRNA-181-5p
15	SMARCE1	miRNA-103-3p, miRNA-135-5p, miRNA-302-3p, miRNA-19-3p
16	TSC1	miRNA-141-3p, miRNA-25-3p, miRNA-30-5p, miRNA-27-3p, miRNA-130-3p
17	TMEM127	miRNA-17-5p, miRNA-202-5p, miRNA-212-5p, miRNA-181-5p, miRNA-140-3p
18	RB1	miRNA-199-3p, miRNA-26-5p, miRNA-132-3p, miRNA-7-5p, miRNA-192-5p
19	MSH6	miRNA-103-3p, miRNA-499a-5p, miRNA-216a-5p, miRNA-155-5p
20	APC	miRNA-29-3p, miRNA-135-5p, miRNA-142-3p, miRNA-129-5p, miRNA-203a-3p, miRNA-26-5p, miRNA-802, miRNA-101-3p
21	NF1	miRNA-103-3p, miRNA-137, miRNA-19-3p, miRNA-128-3p, miRNA-27-3p, miRNA-15-5p, miRNA-30-5p, miRNA-182-5p, miRNA-217
22	DICER	miRNA-182-5p, miRNA-124-3p, miRNA-29-3p, miRNA-190-5p, miRNA-103-3p, miRNA-221-3p, miRNA-203-3p
23	PRKAR1A	miRNA-155-5p, miRNA-141-3p, miRNA-183-5p, miRNA-96-5p, miRNA-499a-5p, miRNA-455-3p, miRNA-192-5p
24	PTCH1	miRNA-140-3p, miRNA-153-3p, miRNA-101-3p, miRNA-203a-3p, miRNA-141-3p
25	PTEN	miRNA-388-3p, miRNA-29-3p, miRNA-22-3p, miRNA-103-3p, miRNA-19-3p, miRNA-26-5p, miRNA-23-3p, miRNA-148-3p, miRNA-499a-5p
26	CDC73	miRNA-182-5p, miRNA-218-5p, miRNA-200, miRNA-144-3p, miRNA-181-5p, miRNA-9-5p, miRNA-101-3p, miRNA-130-3p

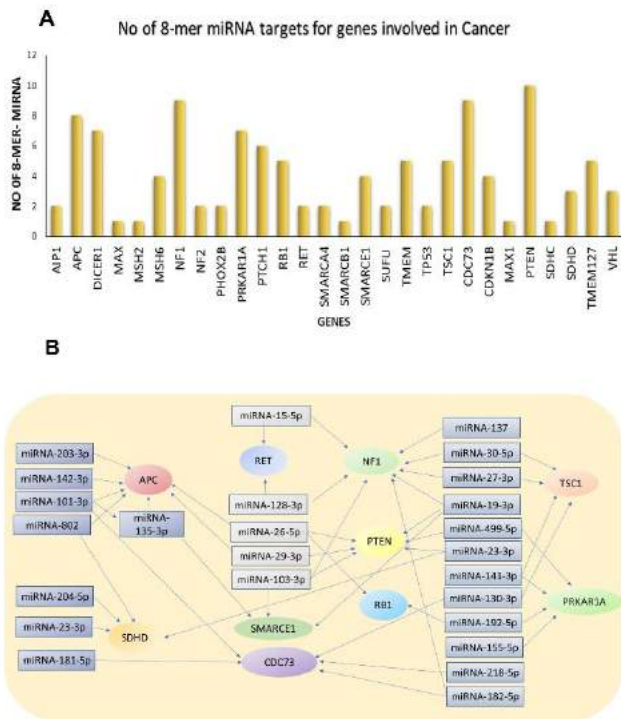


Fig. 4: miRNA targets for genes involved cancer A) Graphical representation of gene targets regulated by 8-nt miRNAs B) Genes regulated by more than one micro RNAs

Discussion

Exploration of miRNAs to identify their functioning and roles in diseases is being carried out extensively. MicroRNAs have proved to be essential gene expression regulators thereby manifesting in several diseases. Furthermore, they carry a potential to serve as emerging biomarkers for numerous diseases. In this study, we have described a computational strategy using bioinformatic tools for the identification of candidate master miRNA regulators of genes involved in both cancer and cardiac hypertrophy through high-quality training datasets. We have performed target prediction analyses with the most stringent conservation criteria among (human, rat and mouse) and filtered 8-nt miRNAs regulates many target genes involved in cellular processes.

Our results predicted many master regulators which are common in both cancer and cardiac hypertrophy. Furthermore, we have explored 8-nt binding target genes involved in cancer as well as in cardiac hypertrophy. TargetScan analyses showed NF1, RET and MIB1 genes as a target of miR-15. This microRNA has been reported to induce tumor inhibitory effects. Study conducted by Lu et al has shown that miR-15 lessens the proliferation and migration of thyroid cancer cells. It displays these effects by targeting BCL2 gene, which is highly expressed in cancer cells [38]. Researchers are working on miR-15 based therapeutic for chronic lymphocytic leukemia by targeted inhibition of BCL2 [39]. These studies make miR-15 an attractive microRNA to be used against brain cancer and cardiac hypertrophy by selectively targeting gene targets. The miR-155-5p (Position: 164-171 3'UTR, Chr: 17), is also related to PRKAR1A gene. miR-155-5p promotes the autophagy in cervical cancers [40].

Through literature survey, we identified several genes reported in cardiac hypertrophy (Table 1) and cancers (Table 2). Various studies on MSH6, a DNA mismatch repair (MMR) protein coding gene showed its involvement in brain cancers. MSH6 together with MSH2 forms a protein complex, which is responsible for the DNA repair. A study conducted in glioblastoma reported mutation in 4th exon of MSH6, which led to alterations in its gene expression [41]. In a similar study conducted on glioma cell lines by Xie et al, mutation in MSH6 led to wide-ranging genome hyper-mutations and resistance to treatment [42]. From TargetScan, we identified that miR-499-5p binds with MSH6 in the seed region as an 8mer target. This miRNA has been previously reported in study conducted by Yang et al, which showed its correlation with occurrence of gastric cancer [43]. Another study conducted on lung carcinoma reinforced the positive correlation of miR-499-5p with cancer. In this study, overexpression miR-499 was linked to tumor proliferation and migration. In vitro inhibition using anti-miR-499 oligonucleotides reduced tumor growth [44]. Role of miR-499 against brain cancers has yet to be recognized but implying its role in other cancers, it can be thought of as a potential therapeutic target. TMEM gene family is involved in several cell functionalities like apoptosis and signaling. Various studies on this gene show the role of TMEM family as tumor enhancers and are found to be upregulated in glioblastoma. In a study conducted by Xu et al, silencing of TMEM-168 using siRNA led to inhibition of tumor proliferation [45]. In a similar study, TMEM-48 knockdown led to reduction in tumor cell invasion and migration. Qiu et al showed that TMEM97 silencing using RNA interference induced anti-tumor effects by suppressing the cell cycle transition regulators CDK2 and cyclinD1 [46]. MiR-202 as predicted by TargetScan is an 8mer target of TMEM. Numerous investigations performed on miR-202 revealed its anti-tumor properties. Study conducted on breast cancer cell lines elucidated the anti-proliferative activity of miR-202 against tumor cells. Harati showed that silencing of miR-202 leads to increase in brain invasive property of malignant breast cancer [47]. MiRNA induced TMEM silencing could be a potential therapeutic intervention for brain neoplasm. From NCBI database, SMARCE1 was identified to have a role in causation of brain neoplasm. This gene has previously been reported to be linked with cancer in several studies. In a study conducted by Liu et al, increased expression of SMARCE1 was observed in gastric cancers where it activates the MAPK/ERK signaling pathway, leading to increased tumor proliferation [48]. In a similar study by Sokol et al., inhibition of SMARCE1 led to decreased tumor proliferation and invasion in breast cancer cell lines, thus exhibiting its oncogenic potential [49]. MiR-302 has been predicted by TargetScan as a possible 8mer target for SMARCE1. Several researches on miR-302 have revealed its anti-cancer properties. Two different studies, conducted in ovarian cancer cells and hepatocellular carcinoma cells, showed reduced expression of miR-302 in the said tumor cells. Administration of miR-302 led to a decrease in colony forming ability and proliferation of cancer cells [50, 51]. In addition to this, investigations to discover the role of miR-302 have been performed in glioblastomas. These cancers normally express low level of miR-302. Scientists engineered the glioma cells to express normal levels of miR-302. A decrease in proliferation was observed in neighboring non-engineered glioma cells which occurred because of paracrine mode of action of the said miRNA [52]. Regulating gene expression levels of SMARCE1 by miR-302 mediated gene silencing could prove to be a promising

therapeutic intervention. Numerous researches carried out on miRNA-103 have revealed its tumor suppressive potential. In a study conducted on glioma cells, low expression levels of miR-103 were detected. Administration of miR-103 in these cells led to decrease in tumor growth. MiR-103 targets brain derived neurotrophic factor (BDNF) thus inhibiting neuronal growth and maturation [53]. In a similar study conducted by Chen et al, miR-103 was shown to inhibit tumor proliferation by targeting and silencing gene expression of SALL4, a highly expressed gene in tumor cells [54]. Since a single miRNA can bind to multiple targets, miR-103 is predicted to control gene expression and silencing of several genes that include NF1, PTEN, SMARCE1, DICER 1 and MSH6. NF1 gene encodes for a protein called neurofibromin that controls cell growth. Loss of function was observed in 11% of glioblastoma cases. A genetic disorder called neurofibromatosis is caused due to inheritance of mutated NF1 (loss of functional mutation) which makes the individual five time more susceptible to brain malignancies [55].

RYR2 (Cardiac Muscle Ryanodine Receptor) gene encodes a ryanodine receptor, found in cardiac muscle sarcoplasmic reticulum, one of the components of a calcium channel, [56]. Defects in Ca^{2+} release from channels/ryanodine receptors (RyR2) accelerates pathological cardiac hypertrophy. This gene is regulated by miR-133 [57] and miR-1 and its expression is found to be upregulated in cardiac hypertrophy [58].

Further in vivo analysis using techniques like RT-qPCR, NGS, luciferase reporter assay and western blotting is required to experimentally validate the potential therapeutic miRNAs targets predicted in this study. MiRNA based therapeutics are generally classified into two types; miRNA mimics and antagomiRs. The miRNA mimics restore normal concentration of a particular miRNA whose concentrations reduced as a result of pathology. On the contrary, antagomiRs cause silencing of overexpressed miRNAs involved in diseases. Modulating gene expression using microRNA mimics or antagonist depends on the role of target gene. Working on miRNA based therapeutic is being done by numerous biotechnological companies. Yet, the search of miRNAs as a prospective therapeutics for cancer and cardiac hypertrophy therapy is at the very beginning.

Conclusion

MicroRNAs can be employed as a treatment against many pathologies including cancer and cardiac hypertrophy. In this study, we limited ourselves to In silico bioinformatic analysis using NCBI databases as well as target Scan. Our findings suggested some possible therapeutic targets that may be employed in treatment of diseases. Some of the targets have not been reported previously and these newly predicted targets can help us in future to design therapeutics and establish novel biomarkers for the better diagnosis and prognosis of pathologies. To confirm our findings, in vivo and in vitro experimentations are essential.

Acknowledgment

We acknowledge Quaid-i-Azam University's URF (University Research Fund), Higher Education Commission Pakistan (HEC) and Pakistan Science Foundation (PSF) to support the current study.

References

- [1]. Mushtaq I, Ishtiaq A, Ali T, Jan MI, Murtaza I. An Overview of Non-coding RNAs and Cardiovascular System. *J Non-coding RNAs in Cardiovascular Diseases* 2020;3:45.
- [2]. Ali T, Mushtaq I, Maryam S, Farhan A, Saba K, Jan MI, et al. Interplay of N acetyl cysteine and melatonin in regulating oxidative stress-induced cardiac hypertrophic factors and microRNAs. *J Archives of biochemistry biophysics*. 2019;661:56-65.
- [3]. Çakmak HA, Demir M. MicroRNA and cardiovascular diseases. *J Balkan medical journal*. 2020;37(2):60.
- [4]. Di Z, Di M, Fu W, Tang Q, Liu Y, Lei P, et al. Integrated analysis identifies a nine-microRNA signature biomarker for diagnosis and prognosis in colorectal cancer. *J Frontiers in genetics*2020;11:192.
- [5]. Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *J CA: a cancer journal for clinicians* 2021;71(3):209-49.
- [6]. Roth GA, Mensah GA, Johnson CO, Addolorato G, Ammirati E, Baddour LM, et al. Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990–2019: update from the GBD 2019 study. *J Journal of the American College of Cardiology* 2020;76(25):2982-3021.
- [7]. Jose J, Kumar R, Harilal S, Mathew GE, Prabhu A, Uddin MS, et al. Magnetic nanoparticles for hyperthermia in cancer treatment: an emerging tool. *J Environmental Science Pollution Research*. 2020;27(16):19214-25.
- [8]. Oldfield CJ, Duhamel TA, Dhalla NS. Mechanisms for the transition from physiological to pathological cardiac hypertrophy. *J Canadian journal of physiology pharmacology* 2020;98(2):74-84.
- [9]. Zheng H, Zhang G, Zhang L, Wang Q, Li H, Han Y, et al. Comprehensive review of web servers and bioinformatics tools for cancer prognosis analysis. *J Frontiers in oncology* 2020;10:68.
- [10]. Das S, Shah R, Dimmeler S, Freedman JE, Holley C, Lee J-M, et al. Noncoding RNAs in cardiovascular disease: current knowledge, tools and technologies for investigation, and future directions: a scientific statement from the american heart association. *J Circulation: Genomic Precision Medicine* 2020;13(4):e000062.
- [11]. Nam S, Kim B, Shin S, Lee S. miRGator: an integrated system for functional annotation of microRNAs. *Nucleic acids research*. 2007;36(suppl_1):D159-D64.
- [12]. Lu T-P, Lee C-Y, Tsai M-H, Chiu Y-C, Hsiao CK, Lai L-C, et al. miRSystem: an integrated system for characterizing enriched functions and pathways of microRNA targets. 2012.
- [13]. Liu H, Yue D, Chen Y, Gao S-J, Huang Y. Improving performance of mammalian microRNA target prediction. *BMC bioinformatics*. 2010;11(1):1-15.
- [14]. Betel D, Koppal A, Agius P, Sander C, Leslie C. Comprehensive modeling of microRNA targets predicts functional non-conserved and non-canonical sites. *Genome biology*. 2010;11(8):1-14.
- [15]. Kertesz M, Iovino N, Unnerstall U, Gaul U, Segal E. The role of site accessibility in microRNA target recognition. *Nature genetics*. 2007;39(10):1278-84.

- [16]. Agarwal V, Bell GW, Nam J-W, Bartel DP. Predicting effective microRNA target sites in mammalian mRNAs. *elife*. 2015;4:e05005.
- [17]. Malhowski AJ, Hira H, Bashiruddin S, Warburton R, Goto J, Robert B, et al. Smooth muscle protein-22-mediated deletion of Tsc1 results in cardiac hypertrophy that is mTORC1-mediated and reversed by rapamycin. *J Human molecular genetics* 2011;20(7):1290-305.
- [18]. Cheung AS, de Rooy C, Levinger I, Rana K, Clarke MV, How JM, et al. Actin alpha cardiac muscle 1 gene expression is upregulated in the skeletal muscle of men undergoing androgen deprivation therapy for prostate cancer. *J The Journal of steroid biochemistry molecular biology* 2017;174:56-64.
- [19]. Zhang X, Kang X, Jin L, Bai J, Zhang H, Liu W, et al. ABCC9, NKAPL, and TMEM132C are potential diagnostic and prognostic markers in triple-negative breast cancer. *J Cell Biology International* 2020;44(10):2002-10.
- [20]. Zhang B, Cheng X, Zhan S, Jin X, Liu T. MIB1 upregulates IQGAP1 and promotes pancreatic cancer progression by inducing ST7 degradation. *J Molecular Oncology* 2021.
- [21]. Zhang Y, Jin W, Ma D, Cao J, Fu T, Zhang Z, et al. Long non-coding RNA CYTOR regulates proliferation and metastasis of colon cancer cells through regulating miRNA-105/PTEN axis. *International journal of clinical and experimental pathology*. 2021;14(4):434.
- [22]. Zhang T, Beeharry MK, Wang Z, Zhu Z, Li J, Li C. YY1-modulated long non-coding RNA SNHG12 promotes gastric cancer metastasis by activating the miR-218-5p/YWHAZ axis. *International journal of biological sciences*. 2021;17(7):1629.
- [23]. Li Y, Shi B, Dong F, Zhu X, Liu B, Liu Y. LncRNA KCNQ1OT1 facilitates the progression of bladder cancer by targeting MiR-218-5p/HS3ST3B1. *Cancer Gene Therapy*. 2021;28(3):212-20.
- [24]. Szabadosova V, Boronova I, Ferenc P, Tothova I, Bernasovska J, Zigova M, et al. Analysis of selected genes associated with cardiomyopathy by next-generation sequencing. *J Journal of clinical laboratory analysis* 2018;32(2):e22254.
- [25]. Kawamoto A, Kato T, Shioi T, Okuda J, Kawashima T, Tamaki Y, et al. Measurement of technetium-99m sestamibi signals in rats administered a mitochondrial uncoupler and in a rat model of heart failure. *J PloS one*. 2015;10(1):e0117091.
- [26]. Mochizuki N, Shimizu S, Nagasawa T, Tanaka H, Taniwaki M, Yokota J, et al. A novel gene, MEL1, mapped to 1p36.3 is highly homologous to the MDS1/EVI1 gene and is transcriptionally activated in t(1;3)(p36;q21)-positive leukemia cells. *J Blood, The Journal of the American Society of Hematology* 2000;96(9):3209-14.
- [27]. Kiuru M, Busam KJ. The NF1 gene in tumor syndromes and melanoma. *J Laboratory investigation*. 2017;97(2):146-57.
- [28]. Eguchi T, Prince TL, Tran MT, Sogawa C, Lang BJ, Calderwood SKJC. MZF1 and SCAND1 Reciprocally Regulate CDC37 Gene Expression in Prostate Cancer. *J Cancers* 2019;11(6):792.
- [29]. Zhang L, Shay JW. Multiple roles of APC and its therapeutic implications in colorectal cancer. *J JNCI: Journal of the National Cancer Institute* 2017;109(8).
- [30]. Jamaspishvili T, Berman DM, Ross AE, Scher HI, De Marzo AM, Squire JA, et al. Clinical implications of PTEN loss in prostate cancer. *J Nature Reviews Urology*. 2018;15(4):222-34.
- [31]. Wu S, Lu D, Zheng X, Xu J, Li Z, Deng L, et al. Dysregulation of autophagy-associated microRNAs in condyloma acuminatum. *Infection, Genetics and Evolution*. 2021:104878.
- [32]. Kostyniuk DJ, Mennigen JA. Meta-analysis of differentially-regulated hepatic microRNAs identifies candidate post-transcriptional regulation networks of intermediary metabolism in rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*. 2020;36:100750.
- [33]. Yin M, Lu J, Guo Z, Zhang Y, Liu J, Wu T, et al. Reduced SULT2B1b expression alleviates ox-LDL-induced inflammation by upregulating miR-148-3P via inhibiting the IKK β /NF- κ B pathway in macrophages. *Aging (Albany NY)*. 2021;13(3):3428.
- [34]. Wu X, Cheng Y-SL, Matthen M, Yoon A, Schwartz GK, Bala S, et al. Down-regulation of the tumor suppressor miR-34a contributes to head and neck cancer by up-regulating the MET oncogene and modulating tumor immune evasion. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*. 2021;40(1):1-16.
- [35]. Wen H-L, Xu Z-M, Lin S-Y, Wen D, Xie JP. miR-597-3p inhibits invasion and migration of thyroid carcinoma SW579 cells by targeting RAB23. *Endokrynologia Polska*. 2021;72(1):22-8.
- [36]. Duan J, Qian Y, Fu X, Chen M, Liu K, Liu H, et al. TMEM106C contributes to the malignant characteristics and poor prognosis of hepatocellular carcinoma. *Aging (Albany NY)*. 2021;13(4):5585.
- [37]. Cao J-Y, Wang B, Tang T-T, Wen Y, Li Z-L, Feng S-T, et al. Exosomal miR-125b-5p deriving from mesenchymal stem cells promotes tubular repair by suppression of p53 in ischemic acute kidney injury. *Theranostics*. 2021;11(11):5248.
- [38]. Lu Z, Wu Z, Hu J, Wei W, Ma B, Wen D. MicroRNA-15 regulates the proliferation, migration and invasion of thyroid cancer cells by targeting Bcl-2. *J Journal of BU ON: official journal of the Balkan Union of Oncology* 2019;24(5):2114-9.
- [39]. Pekarsky Y, Balatti V, Croce CM. BCL2 and miR-15/16: from gene discovery to treatment. *J Cell Death Differentiation* 2018;25(1):21-6.
- [40]. Wang Z, Yan K, Ge G, Zhang D, Bai J, Guo X, et al. Exosomes derived from miR-155-5p-overexpressing synovial mesenchymal stem cells prevent osteoarthritis via enhancing proliferation and migration, attenuating apoptosis, and modulating extracellular matrix secretion in chondrocytes. *Cell Biology and Toxicology*. 2021;37(1):85-96.
- [41]. Deris Zayeri Z, Tahmasebi Birgani M, Mohammadi Asl J, Kashipazha D, Hajjari M. A novel infram deletion in MSH6 gene in glioma: Conversation on MSH6 mutations in brain tumors. *J Journal of cellular physiology*. 2019;234(7):11092-102.
- [42]. Xie C, Sheng H, Zhang N, Li S, Wei X, Zheng X. Association of MSH6 mutation with glioma susceptibility, drug resistance and progression. *J Molecular clinical oncology* 2016;5(2):236-40.

- [43]. Yang YL, Liu P, Li D, Yang Q, Li B, Jiang XJ. Stat-3 signaling promotes cell proliferation and metastasis of gastric cancer through PDCD4 downregulation. *J The Kaohsiung journal of medical sciences* 2020;36(4):244-9.
- [44]. He S, Li Z, Yu Y, Zeng Q, Cheng Y, Ji W, et al. Exosomal miR-499a-5p promotes cell proliferation, migration and EMT via mTOR signaling pathway in lung adenocarcinoma. *J Experimental cell research*. 2019;379(2):203-13.
- [45]. Xu J, Su Z, Ding Q, Shen L, Nie X, Pan X, et al. Inhibition of proliferation by knockdown of Transmembrane (TMEM) 168 in Glioblastoma cells via suppression of Wnt/ β -catenin pathway. *J Oncology research* 2019;27(7):819.
- [46]. Qiu G, Sun W, Zou Y, Cai Z, Wang P, Lin X, et al. RNA interference against TMEM97 inhibits cell proliferation, migration, and invasion in glioma cells. *J Tumor Biology* 2015;36(10):8231-8.
- [47]. Harati R, Hafezi S, Mabondzo A, Tlili A. Silencing miR-202-3p increases MMP-1 and promotes a brain invasive phenotype in metastatic breast cancer cells. *J PloS one*. 2020;15(10):e0239292.
- [48]. Liu H, Zhao Y-R, Chen B, Ge Z, Huang J-S. High expression of SMARCE1 predicts poor prognosis and promotes cell growth and metastasis in gastric cancer. *J Cancer management research*. 2019;11:3493.
- [49]. Sokol ES, Feng Y-X, Jin DX, Tizabi MD, Miller DH, Cohen MA, et al. SMARCE1 is required for the invasive progression of in situ cancers. *J Proceedings of the National Academy of Sciences* 2017;114(16):4153-8.
- [50]. Ge T, Yin M, Yang M, Liu T, Lou G. MicroRNA-302b suppresses human epithelial ovarian cancer cell growth by targeting RUNX1. *J Cellular physiology biochemistry*. 2014;34(6):2209-20.
- [51]. Wang L, Yao J, Shi X, Hu L, Li Z, Song T, et al. MicroRNA-302b suppresses cell proliferation by targeting EGFR in human hepatocellular carcinoma SMMC-7721 cells. *J BMC cancer*. 2013;13(1):1-9.
- [52]. Fareh M, Almairac F, Turchi L, Burel-Vandenbos F, Paquis P, Fontaine D, et al. Cell-based therapy using miR-302-367 expressing cells represses glioblastoma growth. *J Cell death* 2017;8(3):e2713-e.
- [53]. Wang L, Liu Y, Song J. MicroRNA-103 suppresses glioma cell proliferation and invasion by targeting the brain-derived neurotrophic factor. *J Molecular medicine reports*. 2018;17(3):4083-9.
- [54]. Chen L-P, Zhang N-N, Ren X-Q, He J, Li Y. miR-03/miR-195/miR-15b regulate SALL4 and inhibit proliferation and migration in glioma. *J Molecules* 2018;23(11):2938.
- [55]. Cockey E, Ullrich N. Neurofibromatosis typ 1-associated brain tumors. *J Journal of Rare Diseases Research Treatment*. 2016;1(2).
- [56]. van Oort RJ, Respress JL, Li N, Reynolds C, De Almeida AC, Skapura DG, et al. Accelerated development of pressure overload-induced cardiac hypertrophy and dysfunction in an RyR2-R176Q knockin mouse model. *J Hypertension* 2010;55(4):932-8.
- [57]. Belevych AE, Sansom SE, Terentyeva R, Ho H-T, Nishijima Y, Martin MM, et al. MicroRNA-1 and-133 increase arrhythmogenesis in heart failure by dissociating phosphatase activity from RyR2 complex. *J PloS one*. 2011;6(12):e28324.
- [58]. Terentyev D, Belevych AE, Terentyeva R, Martin MM, Malana GE, Kuhn DE, et al. miR-1 overexpression enhances Ca²⁺ release and promotes cardiac arrhythmogenesis by targeting PP2A regulatory subunit B56 α and causing CaMKII-dependent hyperphosphorylation of RyR2. *J Circulation research* 2009;104(4):514-21.



Influence of Geometric Parameters on the Average Outlet Velocity of the Bladeless Fan

Doğukan Akgöl^{1*}, Şahin Yavuz²

^{1*} Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0002-0452-8932), dogukan.akgol@deu.edu.tr

² Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, İzmir, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9007-772X), sahin.yavuz@deu.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1022116)

ATIF/REFERENCE: Akgöl, D., & Yavuz, Ş. (2021). Influence of Geometric Parameters on the Average Outlet Velocity of the Bladeless Fan. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1501-1507.

Abstract

After the development of bladeless fans, design considerations about the fan models have been changed. However, developing an optimum bladeless fan based on geometric parameters is essential due to their possible future applications. In this study, the effect of three geometric parameters such as Coanda surface curvature, bladeless fan cross-section thickness and nozzle outlet gap on the performance of different bladeless fan designs are investigated. These unique features have a significant impact on the bladeless fan's performance. This research uses numerical simulations to get a better understanding of the effects of these three parameters on the performance and the average outlet velocity of bladeless fans. To observe the velocity distribution of the air inside the bladeless fan chamber and average outlet velocity magnitude at the nozzle outlet, ANSYS-Fluent software is used to do three-dimensional numerical simulations. Based on a simplified bladeless fan concept, different bladeless fan cross-sections are designed by changing these three parameters and CFD simulations conducted on these models. It is found that the nozzle outlet gap has the strongest effect on the outlet velocity magnitude of the fan as expected. On the other hand, the other two parameters that choose have significant effects on flow distribution and aerodynamic performance of the bladeless fan. Fan cross-section thickness is a crucial parameter for the internal flow turbulence characteristics inside the bladeless fan ring. This research will be valuable in improving the performance of bladeless fans and will give useful ideas about optimum fan design.

Keywords: Bladeless fan, Aerodynamic performance, Computational fluid dynamics (CFD), 3D numerical simulation, Coanda surface.

Pervanesiz Fanın Ortalama Çıkış Hızına Geometrik Parametrelerin Etkisi

Öz

Pervanesiz fanların geliştirilmesinden sonra, fan modelleriyle ilgili dizayn düşünceleri değişti. Bununla birlikte, geometrik parametreler üzerinden optimum bir kanatsız fan geliştirmek, gelecekteki olası uygulamaları için kaçınılmazdır. Bu çalışmada, Coanda yüzey eğriliği, kanatsız fan kesit kalınlığı ve nozul çıkışı açıklığı gibi üç geometrik parametrenin farklı pervanesiz fan tasarımlarının performansına etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma, pervanesiz fanların performansı ve ortalama çıkış hızı üzerindeki bu üç parametrenin etkilerini daha iyi anlamak için sayısal simülasyonlar kullanır. Pervanesiz fan kesit boşluğu içindeki havanın hız dağılımını ve nozul çıkışındaki ortalama çıkış hızı büyüklüğünü gözlemlemek amacıyla üç boyutlu sayısal simülasyonlar yapmak üzere ANSYS-Fluent yazılımı kullanılmıştır. Basitleştirilmiş pervanesiz fan konsepti üzerinde, bu üç parametre değiştirilerek farklı pervanesiz fan kesitleri tasarlanmış ve bu modeller üzerinde CFD simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Nozul çıkışı aralığının, beklendiği gibi fan çıkış hızı üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Öte yandan, seçilen diğer iki parametrenin pervanesiz fanın akış dağılımı ve aerodinamik performansı üzerinde önemli etkileri vardır. Fan kesiti genişliği, pervanesiz fan halkası iç akış türbülansı karakteristiği için çok önemli bir parametredir. Bu araştırma, pervanesiz fanların performansını iyileştirmede değerli olacak ve optimum fan tasarımı hakkında faydalı fikirler verecektir.

Anahtar Kelimeler: Pervanesiz fan, Aerodinamik performans, Hesaplamalı akışkanlar mekaniği (HAM), Üç boyutlu nümerik simülasyon, Coanda yüzeyi.

* Corresponding Author: dogukan.akgol@deu.edu.tr

1. Introduction

Nowadays, bladeless fans are widely used in areas such as ventilation and cooling systems and gaining significant popularity. Compared to traditional radial and axial fans, the bladeless fans stated in other words air multipliers have some advantages especially like aerodynamic efficiency and security concerns. Air multipliers could multiply volumetric flow rate of air intake, nearly 15 times depends on geometric design, by sucking stationary air from back of the fan. Besides these advantages of air multipliers, the commercial products that are designed to use in domestic applications are easier to clean and hidden blades make bladeless fans safer for kids compared to traditional fans.

The key difference between bladeless and conventional fans are the doubling intake air flow and the lack of a visible impeller. People would prefer bladeless fans due to their better performance and quality, and their health and comfort benefits. Bladeless fans growing popularity led to a limited increase in related studies. An increase in the studies will lead to the emergence of various innovations associated with bladeless fan technology in the future. At present axial and centrifugal fans have been the focus of numerous experimental and numerical studies. However, there are limited studies on Bladeless fans in the literature. The focus of numerous experimental and numerical studies has been axial and centrifugal fans. Lin and Huang used numerical simulations to analyze and design a forward-curved centrifugal fan [1]. Mohaideen used the finite element method to redesign a weight-optimized axial fan blade and reduced 18.5 percentage of the fan blade mass by optimizing the blade thickness parameter using stress analysis [2].

Coanda effect is the key point behind the design. The Coanda effect has been the area of study of several studies in various areas of research [3]. Few researchers have focused on their studies at the Coanda surface and other parameters of the bladeless fan in the past. Li et al. reported the influence of Coanda surface curvature of the bladeless fan on its performance [4]. Moreover, Jafari et al. [5] studied effects of more than one parameter. The total effects of five parameters, namely, bladeless fan cross-section height, outlet slit thickness, outlet flow angle relative to the fan axis, etc. However, many studies related to the bladeless fan design and performance evaluation performed for the commercial bladeless fans designed for domestic use.

In this study, instead of focusing on a single parameter, the total effect of three geometric cross-sectional parameters of bladeless fan such as fan cross-section thickness, the nozzle gap and Coanda curvature on average outlet velocity of the fan. The main goal of this work is to ensure that the flow is developing as laminar as possible while trying to maximize the speed. The increase in the nozzle outlet velocity also increases the amount of stationary air sucked from the environment of bladeless fan. High velocity flow at the bladeless fan nozzle is revealing a low-pressure area. Stationary air outside the fan has high pressure and this pressure difference between inside and outside of the fan induces stationary air to the other side of the bladeless fan ring.

As is known, unlike the studies using fan models with standard airfoil cross-sections like NACA 0012 [1] and Eppler 473 [5], in this study, a specially designed cross-section has been used in consideration of Computational Fluid Dynamics (CFD) analyses to maximize the outlet air velocity.

The turbulence inside the bladeless fan is modeled by the realizable $k-\epsilon$ turbulence model. After several $k-\omega$ turbulence model simulations with different models, realizable $k-\epsilon$ turbulence model was found to be the best fitting method for these models.

2. Material and Method

The bladeless fan was designed to maximize the average nozzle outlet velocity and to reduce the inefficiencies due to air vortices inside the bladeless fan, see Fig. 1. Flow form and distribution were observed through the CFD analyses by ANSYS-Fluent software. As proposed in this research, these bladeless fan models were designed for small-scale applications in contrast to recent commercial bladeless fan products. These designs to be used in these small-scale applications, play an important role in future usage areas of the bladeless fans.

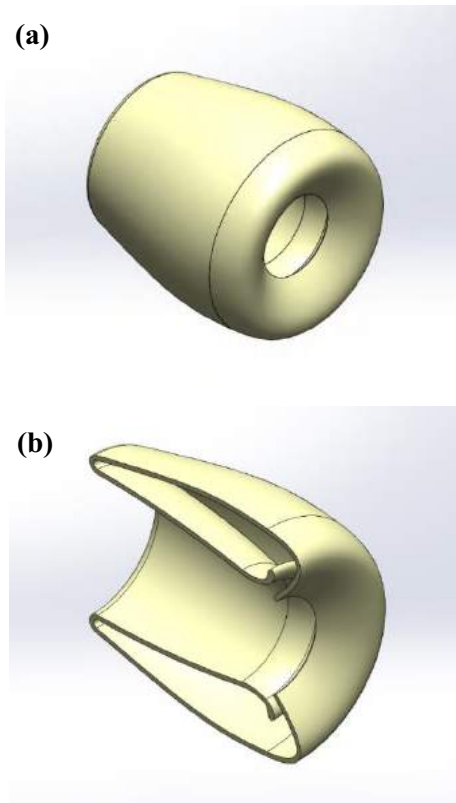


Fig. 1. (a) One of the bladeless fan designs with 98 mm fan diameter. (b) Bladeless fan cross-section view.

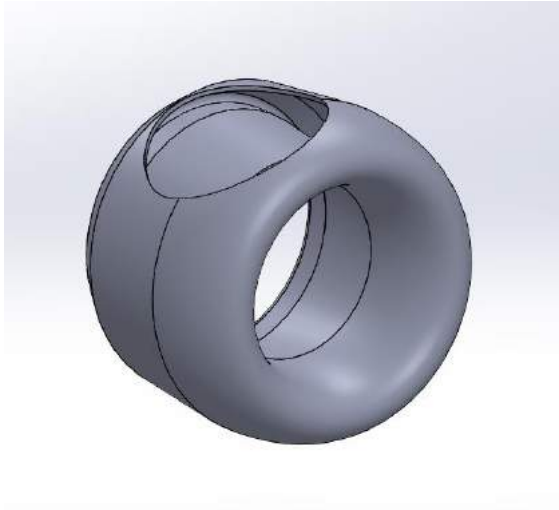


Fig. 2. First model with a single air inlet hole

Firstly, bladeless fans with a single air inlet hole were designed, as seen in Fig. 2. The air stream with a velocity of 40 m/s is filled into bladeless fan cross-section from this single hole. As a result of the simulations conducted to observe the internal flow behavior, it was seen that the air is not circulating homogeneously inside the bladeless fan cross-section. Additionally, as shown in Figure 3, too much air vertices emerging left and right of the inlet symmetrically. Moreover, it can also be observed that there is not enough air coming to the farthest part of the inlet.

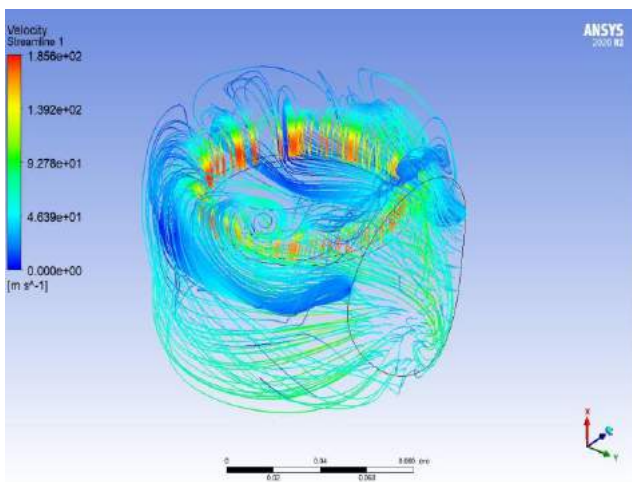


Fig. 3. Air streamline distribution for the first bladeless fan model.

As a result of the analyzes carried out for the first model, average nozzle outlet velocity was obtained as 143.039 m/s . After the first CFD simulations it was determined that model needs one more symmetric inlet to obtain a more homogeneous distribution by ensuring that the flow reaches the rear parts of the bladeless fan (Figure 4). It was found that the optimal inlet hole diameter for the second model is 60 mm , for each. It was determined that the inlet speed of 40 m/s is separated into two to 20 m/s for each inlet.

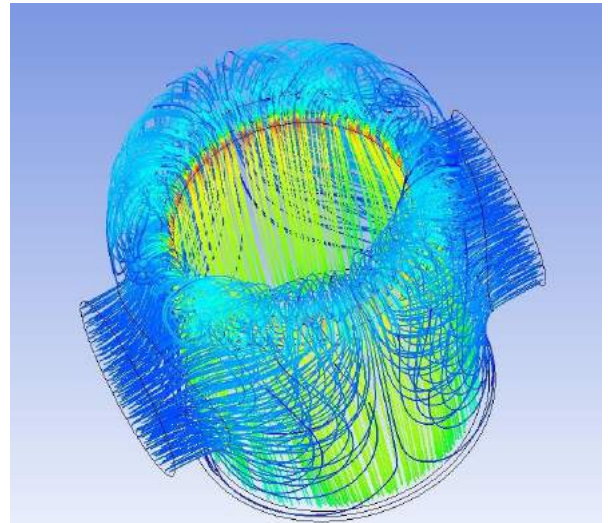


Fig. 4. Second model with two inlets

Another issue discovered through CFD observations was that the inner leading section of the fan cross-section generated turbulence, because of its vertical position, as seen in Figure 5, in the fan ring as it passed the nozzle and affected the bladeless fan performance.

Based on the CFD results and observations about inefficiencies, a new model was developed to extinguish these effects on internal airflow. The thickness and orientation angle of the inner leading section was reduced so that the airflow can pass over leading section without creating turbulence. After the final cross-section was decided at the end of the CFD simulations, four main models.

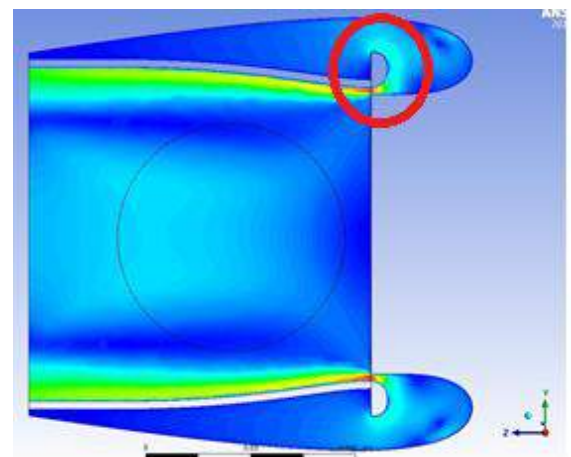


Fig. 5. Inner leading section causing turbulence in air flow

2.1. Computational Method

In this work, the realizable $k-\epsilon$ turbulence model is used to simulate turbulent flow inside the bladeless fan ring. This model was proposed by Shih et al. (1994) as a significant improvement over the standard $k-\epsilon$ model [6]. After several CFD simulations with different turbulence models like $k-\omega$ turbulence model and standard $k-\epsilon$ turbulence model, it was decided that the best turbulence model to adopt for this investigation was Realizable $k-\epsilon$ turbulence model with a near wall treatment method of *enhanced wall treatment*. The *SIMPLE* algorithm is used for pressure-velocity coupling with *second order upwind scheme* for

momentum, turbulent kinetic energy and turbulent dissipation rate.

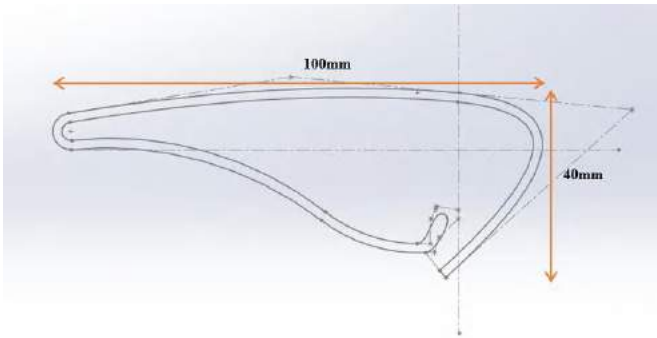


Fig. 6. Overall size of the first prototype.

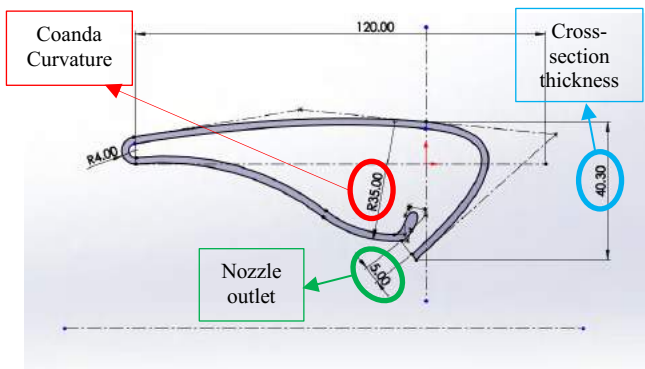


Fig. 7. Coanda surface curvature, nozzle outlet gap and cross-section thickness of the first prototype.

As a result of the observations, four main models were designed to investigate the effect of fan cross-section thickness and Coanda surface curvature parameters on average outlet velocity magnitude.

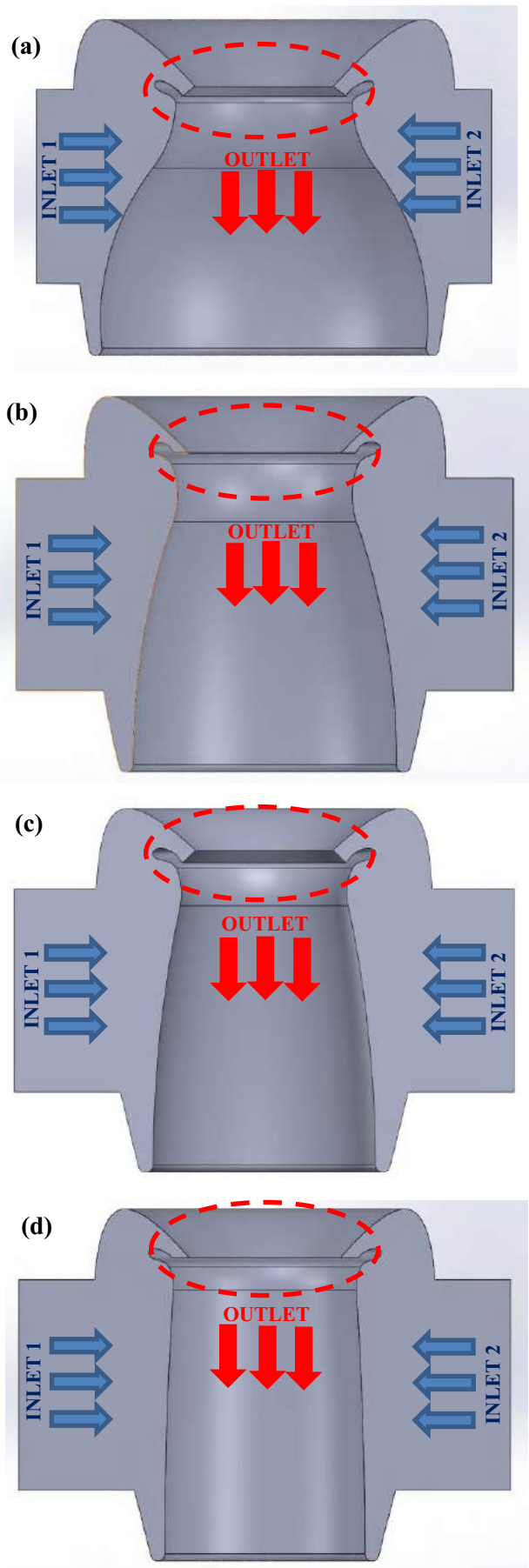


Fig. 8. Final four models; a) Model 1, b) Model 2, c) Model 3 and d) Model 4 after first CFD simulations.

Four main models with different cross-sectional parameters designed (Figure 8) and dimensions of all models are given Table 1.

Table 1. Cross-sectional dimensions table of all four models.

Model	Cross-Section Thickness	Coanda Curvature
Model 1 (a)	$t_1 = 31 \text{ mm}$	$R_1 = 35 \text{ mm}$
Model 2 (b)	$t_2 = 26.25 \text{ mm}$	$R_2 = 25 \text{ mm}$
Model 3 (c)	$t_3 = 23.06 \text{ mm}$	$R_3 = 20 \text{ mm}$
Model 4 (d)	$t_4 = 22 \text{ mm}$	$R_4 = 15 \text{ mm}$

2.2. Boundary Conditions

The main concentration of this study was on geometrical characteristics of bladeless fan, therefore, motor section with an impeller of the fan was not considered and simulated in this study. Instead, the appropriate amount of airflow inlet boundary condition was set to the two inlet sections of every model independently.

Air enters through a 6 cm diameter cylindrical inlet beneath the ring section of the bladeless fan, as shown in Figure 9. The intake air then travels through a small gap to the fan's annular section, where the cross-section has a specially designed airfoil profile.

In Fig. 9 solid models are representing the extracted volume of air inside the bladeless fan cross-section. In CFD simulations performed in ANSYS-Fluent environment, these extracted air volumes were used. The boundary conditions are considered as velocity inlet for INLET 1 and INLET 2 faces and as pressure outlet for OUTLET face. Other faces treated as wall fluid boundary condition. The first CFD analysis was performed to determine the mesh independence of the analysis by using the Model 2.

2.3. Mesh Independence

Before simulating case studies and calculation of y^+ value, according to cells attributed to the bladeless fan, mesh independence of the first simulation is performed to find a suitable cell number. Therefore, eight different mesh sizes from 12 mm element size to 0.8 mm cells for the simulation of Model 2 fan with a diameter of 101 mm and thickness of 5 mm nozzle outlet, have been used, as shown in Table 2.

Table 2. The results obtained from mesh independence analysis of Model 2.

Analysis Number	Mesh Element Size (mm)	Number of cells	Nozzle Outlet Velocity (m/s)
1	12	503132	229.8884
2	8	505508	231.9662

3	7	505542	233.4112
4	6	509768	234.6435
5	4	529440	236.892
6	2	736811	238.2792
7	1	1999827	239.0117
8	0.8	3188485	238.7405

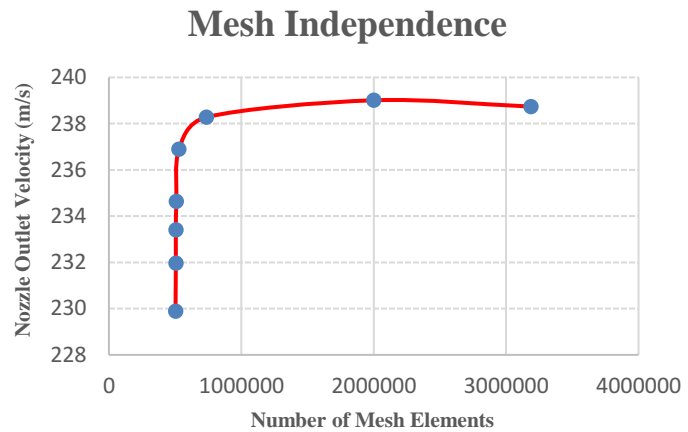


Fig. 9. Mesh independence analysis with eight different mesh sizes.

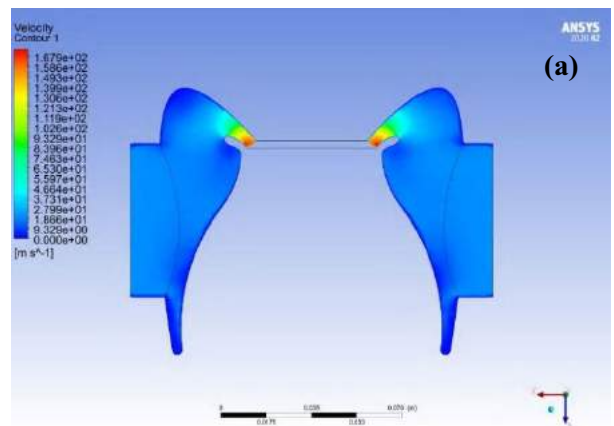
The velocities at the nozzle outlet are compared for the eight different mesh sizes (for inlet airflow velocity of 20 m/s at each inlet), as shown in Figure 9.

We can see that the mesh element number of 736811 elements or more is suitable for the analysis. Since the model geometry does not change significantly, this mesh number and element size were used for all other analyzes with other models.

3. Results and Discussion

3.1. CFD Simulation Results

Series of CFD simulations carried out for four models, were designed as shown in Figure 9. The first analysis was performed for the first model with the previously determined mesh size.



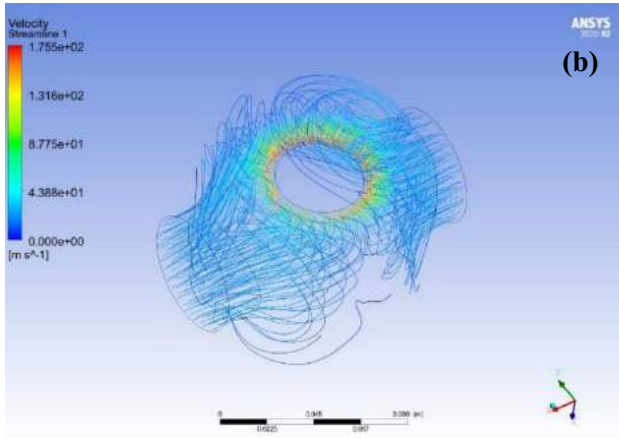


Fig. 10 (a) Velocity contour inside the fan ring. (b) Airflow streamlines for Model 1.

It can be seen from Figure 10(a) the maximum velocity at the nozzle outlet is almost 168 m/s. Also, average outlet velocity for the Model 1 is obtained as 154.07 m/s. The magnification factor between inlet airflow velocity and outlet airflow velocity can be calculated as approximately 3.8517. It can be seen from the CFD data in Figure 10 that designed model makes the airflow velocity increase almost 4 times. It should be noted that the average y^+ value of the Model 1 is calculated as 63.281.

With the improvements made on the first model, the second model has been designed to maximize the outlet velocity.

Model 2 was analyzed using the same mesh size and boundary conditions with Model 1. The second prototype has a lower Coanda surface curvature with a radius of 25 mm and a cross-section thickness of 26.25 mm.

As seen in the CFD simulation results of the second prototype, shown in Figure 11, circulation at the inner leading section reduced and the outlet velocity increased significantly. Maximum outlet velocity is 277.8 m/s and the average outlet velocity is calculated as 254.334 m/s. Magnification factor between the inlet airflow and the outlet airflow can be calculated as almost 6.35. The second prototype can accelerate the airflow up to 6.35 times.

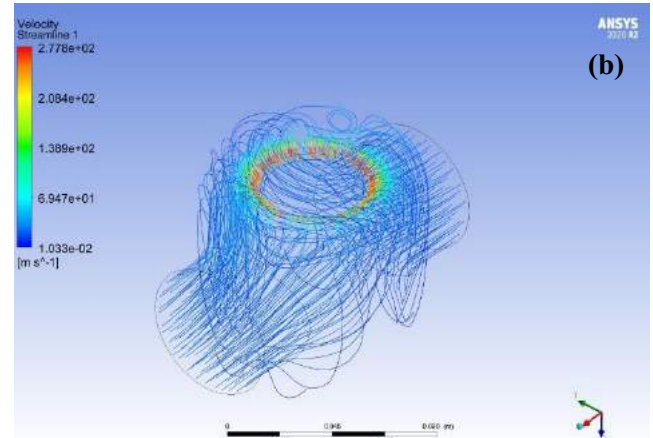


Fig. 11. CFD simulation of the second prototype bladeless fan. a) Velocity contour b) Velocity streamlines. The airflow magnification increased.

The other two models were simulated under the same conditions. In the third prototype, Coanda curvature and cross-sectional thickness were adjusted to 20 mm and 23.06 mm respectively. This design change caused the outlet velocity to decrease again to 157 m/s. This can be caused by a reduction in cross-sectional air capacity of the fan ring. The simulation results of the third model can be seen in Figure 12.

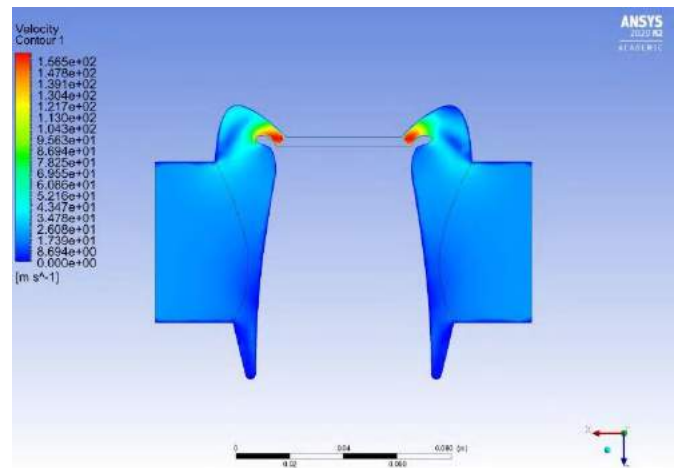
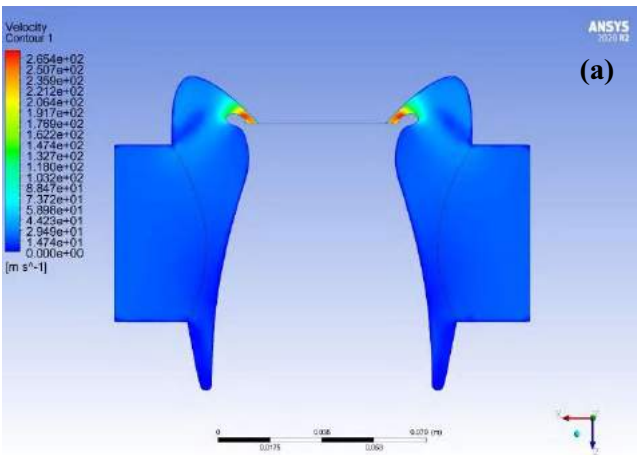


Fig. 12. Velocity contour of the third prototype. Average Outlet velocity decreased to 157 m/s.

Finally, a low curvature to Coanda surface was implemented for the fourth design. Theoretically when a surface has a curvature, the Coanda effect in airflow increased. The Coanda effect causes fluid to flow more freely along the surface than on a flat surface [7]. Therefore, this low curvature at the Coanda surface results decrease in the Coanda effect.



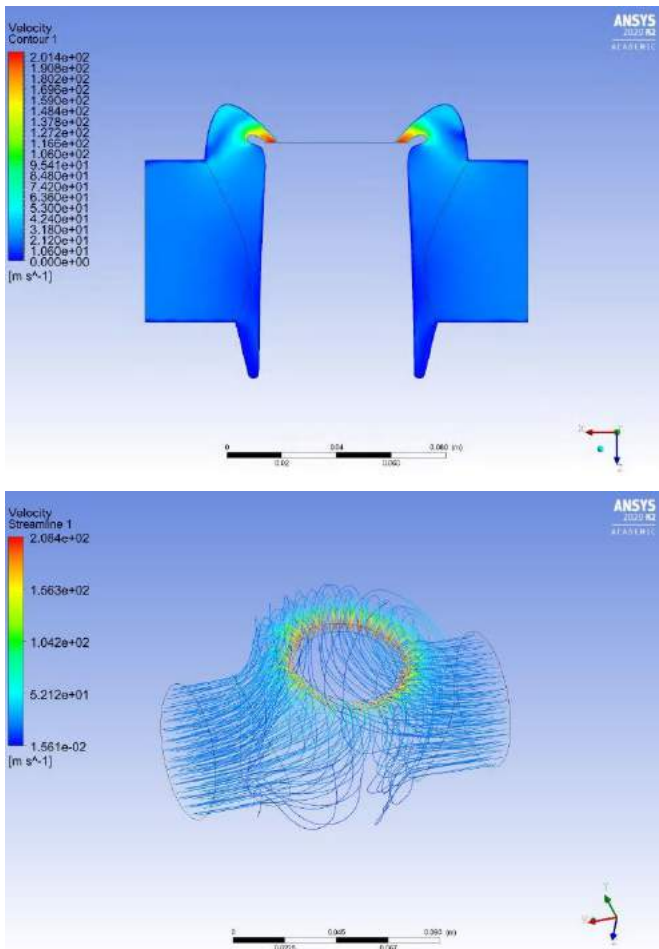


Fig. 13. The velocity distribution of Model 4 inside the ring. Average outlet velocity increased according to Model 3.

The average velocity outlet of the fourth prototype has increased to 199.47 m/s and maximum outlet velocity has increased to 206.41 m/s as shown in Figure 13. The decrease in the curvature of the Coanda surface and the fan thickness together caused that increase in outlet velocity. All four simulations repeated with a narrower nozzle outlet and as expected, narrowing of the nozzle gap caused an increase in outlet airflow velocity.

In reviewing the literature, there are no sufficient data or enough study done for a bladeless fan of this size. Smaller-scale applications of bladeless fans are essential to increase the usage field. More security and efficiency make these types of fans preferable compared to traditional fans with propellers. This study was designed to observe the effect of geometrical parameters on the outlet velocity for small-scale bladeless fans. The results of this study indicate that there is a relation between geometrical parameters of bladeless fan. The first model has a large curvature at the Coanda surface and has the biggest cross-sectional thickness, but the second model has greater average outlet velocity than first one. Therefore, there is an optimum design between Model 1 and Model 4 to maximize the outlet velocity. It should be noted that this study only exhibits the internal flow effects and at future works these simulations can be combined with external flow simulations. Bladeless fans not only accelerate inlet air, but also induce the outside stationary air and create up to 15 times more airflow depending on the geometry [8].

4. Conclusions and Recommendations

Design considerations for fan models have evolved since the development of bladeless fans. However, because of its possible future applications, building an optimal bladeless fan based on geometric characteristics is essential. The effect of three geometric parameters on the performance of several bladeless fan designs is investigated in this research, such as, bladeless fan cross-section thickness, nozzle outlet gap and Coanda surface curvature. This study has shown that there is a relation between these three parameters which should be optimized to maximize outlet velocity. The simulation results of Model 1, Model 2 and Model 3 indicate that the increase in Coanda curvature or in cross-sectional thickness does not always come with an increase in average outlet airflow velocity. The current findings add to a growing body of literature on about small-scale bladeless fans. This research has thrown up many questions in need of further investigation. It would be interesting to assess the effects of all geometrical parameters with stationary outside air to see the inducement effects of the bladeless fan. Thus, the total active and passive air flow can be observed and can create ideas and questions for future studies. The findings of this study have several important implications for future practice about small-scale bladeless fan designs.

References

- [1] Lin, S. C., & Huang, C. L. (2002). An integrated experimental and numerical study of forward-curved centrifugal fan. *Experimental thermal and fluid science*, 26(5), 421-434.
- [2] Mohaideen, M. M. (2012). Optimization of backward curved aerofoil radial fan impeller using finite element modelling. *Procedia engineering*, 38, 1592-1598.
- [3] Drăgan, V. (2012). A New mathematical model for Coandă effect velocity approximation. *INCAS Bull*, 4, 85-92.
- [4] Li, G., Hu, Y., Jin, Y., Setoguchi, T., & Kim, H. D. (2014). Influence of Coanda surface curvature on performance of bladeless fan. *Journal of thermal science*, 23(5), 422-431.
- [5] Jafari, M., Afshin, H., Farhanieh, B., & Sojoudi, A. (2016). Numerical investigation of geometric parameter effects on the aerodynamic performance of a Bladeless fan. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 223-233.
- [6] Shih, T. H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., & Zhu, J. (1995). A new k-epsilon eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. *Computers & fluids*, 24(3), 227-238.
- [7] Rašuo, B., & Mirkov, N. (2014). On the possibility of using Coanda Effect for Unmanned Aerial Vehicles—a numerical investigation. *PAMM*, 14(1), 627-628.
- [8] GAMMACK P D, NICOLAS F, SIMMONDS K J. "Bladeless fan, in Patent Application" US Patent 2009/0060710A1. United States, 2009.



Plasmonic Photocurrent Improvement in P3HT:PCBM Organic Solar Cells

M Fekry¹, S Sanad², H Hashem³, A Hassanien⁴, N Gad⁵, M shaaban⁶, A Yahia⁷, M El-Aasser⁸

^{1*} Mathematics Engineering and Physics Department, The Higher Institute of Engineering, Shorouk Academy, El-Shorouk City, Cairo, Egypt and

Physics Department, Faculty of Science, Helwan University, Helwan, Egypt
(ORCID ID 0000-0002-8432-041X) physicistmahmoudfathy@gmail.com

^{2*} Physics Department, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo 11566, Egypt
(ORCID ID 0000-0003-2461-4245) shyamaamohamed1994@gmail.com

^{3*} Physics Department, Faculty of Science, Helwan University, Helwan, Egypt
(ORCID ID 0000-0002-8629-2221) hany_m_hashem@yahoo.com

^{4*} Physics Department, Faculty of Science, Helwan University, Helwan, Egypt
(ORCID ID 0000-0002-6690-5721) mu.ibrahim700@gmail.com

^{5*} Physics Department, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo 11566, Egypt
(ORCID ID 0000-0002-4175-877X) ngad@sci.asu.edu.eg

^{6*} Mathematics Engineering and Physics Department, The Higher Institute of Engineering, Shorouk Academy, El-Shorouk City, Cairo, Egypt

(ORCID ID 0000-0003-4125-8246) M.shaaban@sha.edu.eg

^{7*} Physics Department, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo 11566, Egypt
(ORCID ID 0000-0003-1998-4647) ayahia@sci.asu.edu.eg

^{8*} Physics Department, Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo 11566, Egypt
(ORCID ID 0000-0003-3010-1905) ElAasser@gmail.com

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1022871)

ATIF/REFERENCE: Fekry, M., Sanad, S., Hashem, H., Hassanien, A., Gad, N., shaaban, M., Yahia, A., & El-Aasser, M. (2021). Plasmonic Photocurrent Improvement in P3HT: PCBM Organic Solar Cells. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1508-1516.

Abstract

The need to develop and deploy large-scale, cost-effective, renewable energy is becoming tremendously important in the last few decades. Nanostructured organic solar cells have the long-term potential to provide low cost, and high-efficiency renewable energy. In recent years, photovoltaic cells based on nanoparticles blended with semiconducting polymers have achieved good performance and distinguished power conversion efficiencies, greater than 17%. These structures include various sizes and shapes of metal nanoparticles. Intensive research is being done towards achieving organic solar cell efficiency of 20%. In this work, a detailed numerical simulation is done for a proposed nanostructured organic solar cell design. Different nanoparticle shapes and sizes are considered in the active layer (P3HT:PCBM) to obtain a highly efficient organic solar cell.

Keywords: Polymer Solar Cells, Organic Solar Cells, Organic Photovoltaics, Plasmonic Organic Solar Cells.

P3HT:PCBM Organik Güneş Pillerinde Plazmonik Fotoakım İyileştirmesi

Öz

Uygun maliyetli, yenilenebilir enerji geliştirme ve dağıtma ihtiyacı, son birkaç on yılda son derece önemli hale geliyor. Nano yapıları organik güneş pilleri, düşük maliyetli ve yüksek verimli yenilenebilir enerji sağlamak için uzun vadeli potansiyele sahiptir. Son yıllarda, yarı iletken polimerlerle harmanlanmış nanoparçacıklara dayalı fotovoltaiik hücreler, %17'den fazla iyi performans ve seçkin güç dönüştürme verimliliği elde etti. Bu yapılar, çeşitli boyut ve şekillerde metal nanoparçacıkları içerir. %20 organik güneş pili verimi elde etmek için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, önerilen bir nanoyapılı organik güneş pili tasarımı için ayrıntılı bir sayısal simülasyon yapılmıştır. Yüksek verimli bir organik güneş pili elde etmek için aktif katmanda (P3HT:PCBM) farklı nanoparçacık şekilleri ve boyutları göz önünde bulundurulur.

Anahtar Kelimeler: Polimer Güneş Pilleri, Organik Güneş Pilleri, Organik Fotovoltaiikler, Plazmonik Organik Güneş Pilleri.

* Corresponding Author: physicistmahmoudfathy@gmail.com

1. Introduction

Organic solar cells (OSCs) have turned out to be an important class of photovoltaics due to their low cost, small weight, solution processing, wide choice of materials with tunable optical properties and ease of fabrication [1-3]. Small-molecules and solution-processed bulk-heterojunction polymer/fullerene can be used to construct OSCs [4],[5]. Bulk-heterojunction (BHJ) is the active layer that consists of donor and acceptor in one blend [6]. These structures were used for solving the problem of limitations of short exciton lifetime, BHJ improves the charge generation and separation [6],[7]. The active layer P3HT:PCBM blend is sandwiched between Hole transporting layer (HTL), electron transporting layer (ETL), back electrode and semi-transparent front electrode, usually conductive transparent oxide (CTO) ([4],[8],[9]). A power conversion efficiency (PCE) for a conventional BHJ OSC was reported 6.8% [10]. BHJ OSCs have many problems that make their PCE low, still P3HT:PCBM blend has low absorption due to insufficient light harvesting and short diffusion length of generated excitons in polymer that limit the thickness of active layer (<100nm), which makes a problem between light absorption and charge collection. Another problem facing OSCs is performance degradation as a result of ambient conditions, which has an effect on efficiency and stability [11-13].

Overcoming these problems by adding noble metal nanoparticles (NPs) with different morphologies and sizes into different layers or different positions into active layer, ETL or HTL with different three mechanisms: localized surface plasmon resonance (LSPR), light scattering, surface plasmon polariton(s), SPP(s) to investigate harvesting light and photon management ([14],[15]). The most metal NPs used in BHJ for plasmonic enhancement are silver (Ag) and gold (Au). [16]

Inorganic solar cells achieve a high degree of PCE but these solar cell materials are expensive and have

complex fabrication techniques. On the other hand, OSCs have many advantages compared to the inorganic solar cells such as low cost, flexibility, light weight, solution processing. Unfortunately, OSC has low PCE. This is because it has some physical limitations such as small diffusion length of excitons and low carriers' mobility. These limitations lead to the use of a thin active layer. Hence, this results in low optical absorption and low PCE. So, it is important to improve optical absorption to enhance PCE. The most important approach to enhance optical absorption is to trap more light in OSCs.

In this work, the absorption of the active layer of the cell is studied for potential enhancement by adding a two-dimensional array of metal NPs with different sizes and shapes. The electromagnetic interaction of the metal electrons and the incident light creates surface wave plasmons that result in trapping the light surrounding the metal NPs. Hence, NPs work as scattering media of light that increases the light paths in the active layer so do the absorption. Hence, the efficiency of the cell increases either.

2. Device Design and Modeling

It is very important to simulate any device before fabrication to save time and materials, therefore, the proposed OSC structure is modeled and simulated to predict its optoelectronic properties before fabrication process. The proposed planar structure (without NPs) consists of five layers: SiO₂ layer glass used as a protective layer of 200 nm, Indium tin oxide (ITO) as a front electrode with thickness of 180 nm, PEDOT:PSS as a hole transport layer (HTL) with thickness of 50 nm, then the active layer (P3HT:PCBM) with thickness of 250 nm, then the anode layer of Aluminum (Al) with thickness of 120 nm. The design is shown in Fig 1(a), SiO₂/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al. The HTL works as a buffering layer with a band gap of 3 eV. The active layer has a band gap of 1.7 eV and the work functions of ITO and Al are 4.7 eV and 4.2 eV respectively.

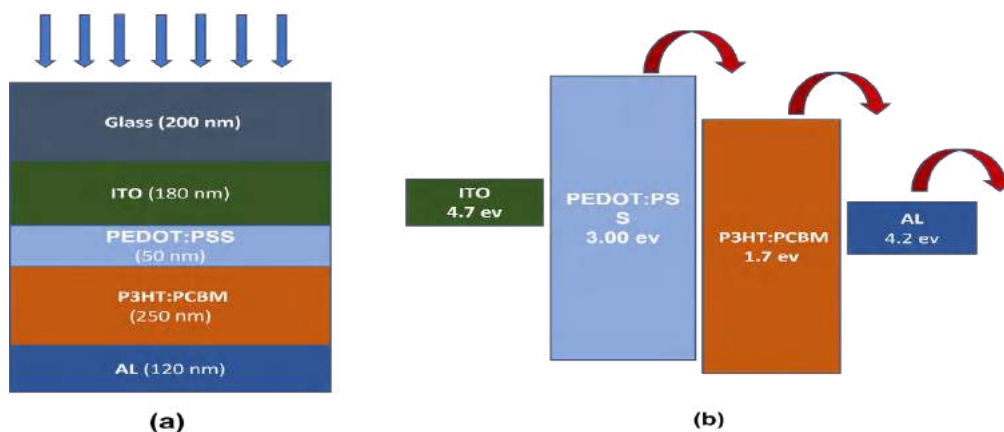


Fig 1. (a) The proposed OSC design, (b) its energy diagram

The energy diagram of the planar model, shown in Fig 1(b), shows the transport of charge carrier within the cell.

An in-house tool was used to model the optical simulation which is a three-dimensional finite difference time domain method (FDTD). The incident light source is AM1.5 that directly incident normal to the proposed OSC. The wavelength spans range from 300 to 1100 nm with step 10 nm. The optical model was used to calculate the active layer absorption spectrum with different structure of the OSC.

The calculations for the proposed OSC structure are made for a unit cell in order to reduce simulation time, the whole OSC is made by repeating these unit cells in both direction x and y so we obtain our calculation for this unit cell then generalized the result to whole OSC for any configuration of our OSCs we add a source of plane wave with wavelength range of 300 to 1100 which used to inject sunlight in the z backward direction. 3D-FDTD method is applied to the OSC unit cell with 8 layers as a perfectly matched layer (PML) placed along the z-direction as absorbing boundary at the top and bottom of the device. They were used at the injection direction of light to absorb transmitted and reflected spectrum. The periodic boundary condition in x-direction is set to anti-symmetric and in y-direction to symmetric, with a mesh accuracy value of 2 while a non-uniform conformal mesh was applied to the entire structure. The active layer was surrounded between two FDTD power monitors to calculate the transmittance and reflectance spectra in the active layer. The transmittance monitor was placed at $z = -450$, the reflectance monitor at $z = -200$, the plane wave source of sunlight at $z = 430$, and the square periodic array of NPs at $z = -325$. The power absorbed was computed using equation (3) from the transmittance and reflectance spectra. The light absorption as function of wavelength is calculated from this relation to calculate light absorption

$$A(\lambda) = \frac{L(\lambda)}{P_{in}(\lambda)} \quad (1)$$

where:

$P_{in}(\lambda)$ is the power of light incident, $L(\lambda)$ is the power loss by the solar cell, and it is given by

$$L(\lambda) = -\frac{1}{2} \iiint^{xyz} \text{div}\{\text{real}(E(x, y, z, \lambda)H(x, y, z, \lambda)^*)\} dx dy dz. \quad (2)$$

To calculate the photocurrent density of each model, we first get the absorbed power

$$P_{abs} = 1 - R - T \quad (3)$$

where R is the Reflectance and T is the Transmittance, both are obtained from the FDTD.

Then the Quantum efficiency is computed as

$$QE(\lambda) = \frac{P_{abs}(\lambda)}{P_{in}(\lambda)}. \quad (4)$$

The integrated quantum efficiency is given by

$$IQE = \frac{\int_{\lambda}^{QE(\lambda)I_{AM1.5}(\lambda) d\lambda}}{\int_{\lambda}^{I_{AM1.5}(\lambda) d\lambda}} \quad (5)$$

where h is planks constant, c is the speed of light, $I_{AM1.5}$ is the AM1.5 standard sunlight incident spectrum, and λ is the wavelength.

The photocurrent density is calculated by

$$J_{sc} = \frac{e}{hc} \int \lambda QE(\lambda)I_{AM1.5}(\lambda) d\lambda \quad (6)$$

The photocurrent density J_{sc} is calculated from equation (6) for each proposed structure and a comparative study is made between them.

3. Results and Discussion

In the planner structure, OSC(A), 200 nm of SiO₂ glass is used as a protective layer to keep our cell away from oxidation and contamination; 180 nm of ITO which has two purposes, optical purpose as it is anti-reflective material so it will reduce optical loss from reflection and more sun light will enter the cell and not reflected, electrical purpose because of its high electrical conductivity we use it as electrical contact cathode; 50 nm of PEDOT:PSS as a buffer layer as small thickness of it lead to minimum reflection and hence enhance the optical absorption shown in Fig 2; it also works as broadband layer, 250 nm of active layer (P3HT:PCBM which have a high absorption coefficient), 120 nm of Al layer that reflect sunlight into the upper layer P3HT:PCBM and prevent it from escaping outside OSC so it is effective to enhance the optical absorption. The OSC is assumed to be extended infinitely in both x and y directions.

Table 1. shows the photocurrent density (J_{sc}) for different thickness of PEDOT:PSS layer with constant active layer thickness. It can be noticed that the photocurrent density increases with decreasing the thickness of PEDOT:PSS layer, For PEDOT:PSS thickness 50 nm the J_{sc} has value of 13.4 (mA/ cm^2) which is the optimized thickness of PEDOT:PSS as enhancement increased by 4.9% compared to thickness of 110 nm and by 2.2% compared to thickness 80 nm

Table 1. The photocurrent density for different thickness of PEDOT:PSS layer with constant active layer thickness, 250 nm

PEDOT:PSS thickness	J_{sc} (mA/ cm^2)
50 nm	13.40
80 nm	13.11
110 nm	12.74

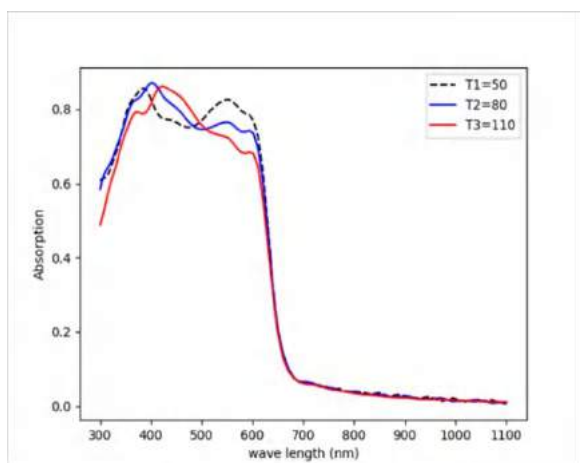


Fig 2. The absorption spectrum for different PEDOT:PSS layer thickness with constant active layer thickness, 250 nm

Fig 3 represents the optical absorption curve of planner structure (without NPs). These data are achieved by using FDTD method and solving maxwell equations this curve shows that it has greater absorption values in the wavelength range between 350 nm and 650nm.

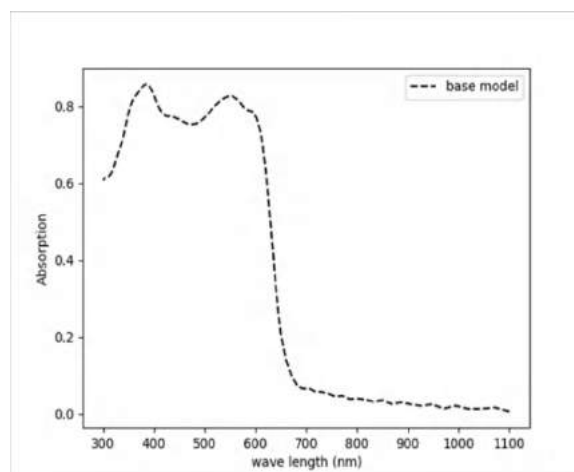
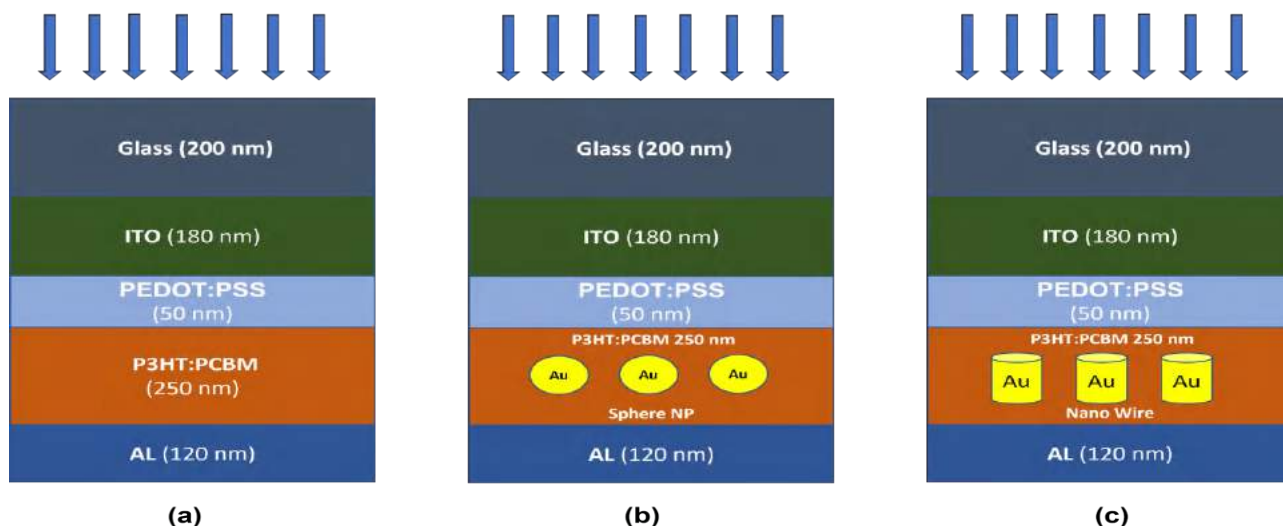


Fig 3. The absorption spectrum of the planner structure, OSC(A)

In order to trap light in the active layer to increase optical absorption and enhance PCE, we embedded a square periodic array of Au NPs with different sizes and shapes with lattice constant 70 nm. Having NPs at different places such as the active layer or the buffer layer creates localized surface plasmon resonance (LSPR) which make NPs act as scattering centers for the incident light. Therefore, light is scattered with different angles, and this leads to elongate the optical paths hence more light is trapped and the optical absorption increases.

In our study we represent 6 configurations of OSC, deploying P3HT:BCPM as the active material. The proposed planar structure OSC(A) depicted in Fig 4 (a) was modified by having NPs in the active layer. The other configurations were achieved by embedding square periodic array of gold NPs of different shapes and sizes in the active layer such as nanospheres to obtain OSC(B) depicted in Fig 4(b), nanocylinder to obtain OSC(C) shown in Fig 4(c), nanocones to obtain OSC(D) shown in Fig 4(d), nanopyramids to obtain OSC(E) shown in Fig 4(e), and nanocubes to obtain OSC(F) shown in Fig 4(f).



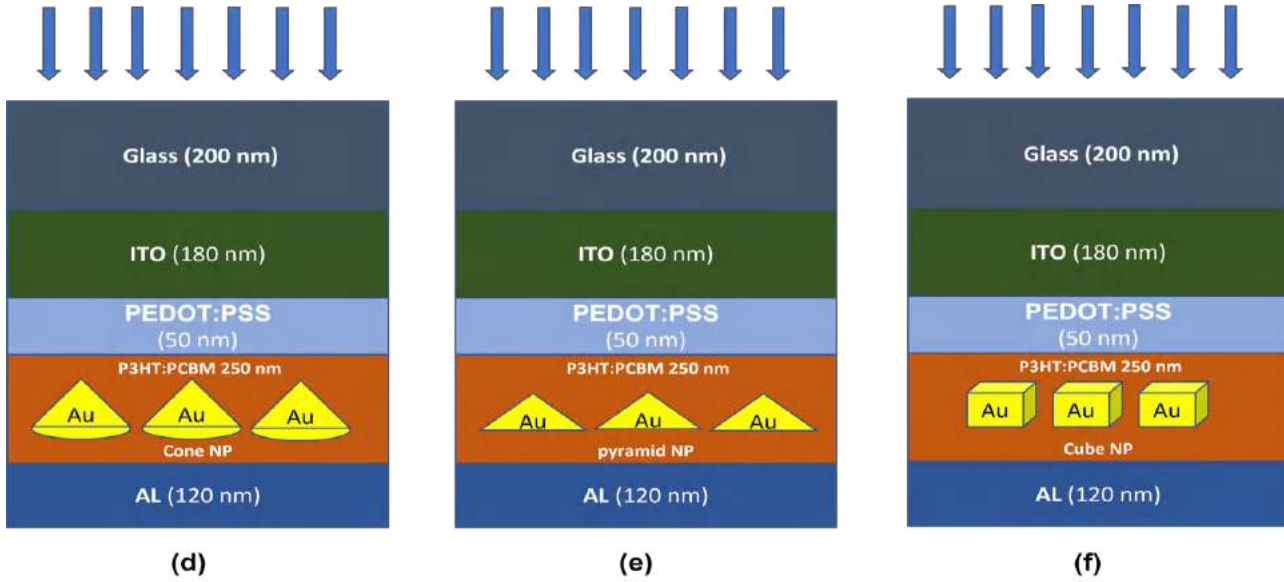


Fig 4. (a) planner structure OSC(A),(b) OSC(B)with spheres NPs,(c) OSC(C)with cylinder NPs. (d) OSC(D) with cones NPs, (e) OSC(E)with pyramids NPs, (f) OSC(F) with cube NPs.

Table 2. The geometry parameters of NPs with different shapes

	Sphere radius (r) nm	Pyramid height (h) nm	Cube side length (L) nm	Cylinder radius (x) nm	Cone 1 height (c) nm	Cone 2 Angle (Θ)
Size (1)	15	34.88	24.18	10.61	34.34	24.67°
Size (2)	20	46.5	32.24	16.33	45.8	35.3°
Size (3)	25	58.13	40.31	22.82	57.24	44.66°
Size (4)	30	69.76	48.37	29.9	68.7	52.41°

By embedding NPs in the active layer, the optical absorption enhanced by LSPR which make NPs as scattering medium so light rays will scatter with different angles so more light paths are generated and trapped so absorption increases. NPs were embedded with 4 different sizes and each size has 6 different shapes; they are all collected in the table 2.

In table 2, different volumes of NPs are used in the simulation as Size (1) = 14142.86 nm³, Size (2) = 33523.81 nm³, Size (3) = 65476.2 nm³, and Size (4) = 113142.86 nm³. (r) indicates the radius of NPs sphere, (h) denotes the height of square pyramid, (L) indicates the side length of the cube, (x) indicates the radius

of cylinder as the height of cylinder is kept constant equal 40 nm, (c) in cone 1 indicates the height of the cone as the angle is kept constant equal to 30°, (Θ) in cone 2 indicates the angle of cone with the height is kept constant equal to 40 nm. Fig 5 shows the absorption curves when the active layer is nanostructured with size (1), size (2), size (3), and size (4) for different NP shapes. It is noticed that we have enhancement of all absorption curves for all shapes compared to the base structure (without NPs). Some shapes have also higher degree of optical absorption compared to others. The pyramid NPs absorption spectrum is the highest among all other shapes including the base structure.

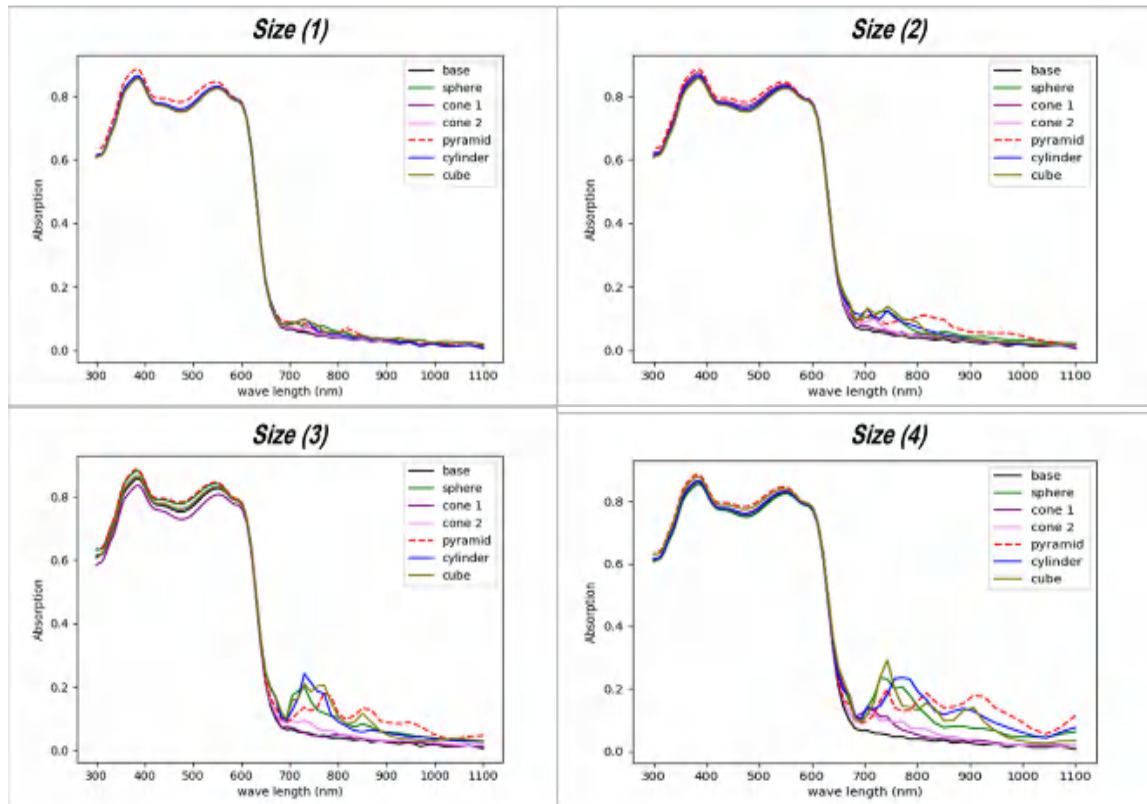


Fig 5. The absorption spectra for different nanoshapes for the same size.

As the size of NPs increase the optical absorption increases, all curves show enhancement in the wavelength range from 350 nm to 600 nm. the photocurrent density was also affected and show different enhancement for different shapes and sizes, see Tables 3-8. The nanospheres introduced an improving of the photocurrent density up to 14.2% as shown in Table 3 while nanocubes introduced higher maximum as 17.1% as shown in Table 4. While in Table 5, nanocylinders introduced a maximum improvement of 18.4%, nanopyramid introduced 20.3% in Table 6, the best improvement of photocurrent density among all nano-shapes. In Tables 7, increasing the nanocone height enhances J_{sc} up to 5.8%. The nanocone height is kept constant with changing the vertex angle. This results in an enhancement up to 5%.

Table 3. The photocurrent density and the enhancement percentage compared to the base structure for nanospheres with different sizes

Structure	J_{sc} (mA/cm ²)	Enhancement Percentage (%)
Base structure	13.40	-
Sphere size (1)	13.73	2.5
Sphere size (2)	14.22	6
Sphere size (3)	15.03	12.2
Sphere size (4)	15.30	14.2

Table 4. The photocurrent density and the enhancement percentage compared to the base structure for different size nanocubes

Structure	J_{sc} (mA/cm ²)	Enhancement Percentage (%)
Base structure	13.40	-
Cube size (1)	13.80	3
Cube size (2)	14.13	5.5
Cube size (3)	15.09	12.
Cube size (4)	15.69	17.1

Table 5. The photocurrent density and the enhancement percentage compared to the base structure for different size nanocylinders

Structure	J_{sc} (mA/cm ²)	Enhancement Percentage (%)
Base structure	13.40	-
Cylinder size (1)	13.74	2.6
Cylinder size (2)	14.14	5.5
Cylinder size (3)	14.88	11.6
Cylinder size (4)	15.87	18.4

Table 6. The photocurrent density and the enhancement percentage compared to the base structure for different size nanopyramids

Structure	J_{sc} (mA/cm ²)	Enhancement Percentage (%)
Base structure	13.40	-
Pyramid size (1)	14.07	5
Pyramid size (2)	14.72	9.8
Pyramid size (3)	15.32	14.4
Pyramid size (4)	16.12	20.3

The photocurrent density (J_{sc}) varies from size to size and from shape to shape in the same size, in general as the size of NPs increases, we get enhancement of J_{sc} . In case of pyramid NPs, we have the best absorption curve and hence the highest J_{sc} compared to the other shapes. In case of cone 2 shape with constant height 40 nm, we obtain the lowest enhancement of J_{sc} since the optical absorption is low in this case. An important note in these results obtained from cone 1 and cone 2 shapes is that varying shapes of NPs gives different result as

Table 7. The photocurrent density and the enhancement percentage compared to the base structure for nanocones with constant theta 30° and variable height.

Structure	J_{sc} (mA/cm ²)	Enhancement Percentage (%)
Base structure	13.40	-
Cone 1 size (1)	13.47	0.5
Cone 1 size (2)	13.76	2.7
Cone 1 size (3)	14	4.5
Cone 1 size (4)	14.17	5.8

Table 8. The photocurrent density and the enhancement percentage compared to the base structure for nanocones with constant height 40 nm and variable vertex angle

Structure	J_{sc} (mA/cm ²)	Enhancement Percentage (%)
Base structure	13.40	-
Cone 2 size (1)	13.60	1.5
Cone 2 size (2)	13.72	2
Cone 2 size (3)	13.85	3.4
Cone 2 size (4)	14.07	5

both are cones but changing some parameter relative to the other in the same shape gives different optical absorption and hence different J_{sc} .

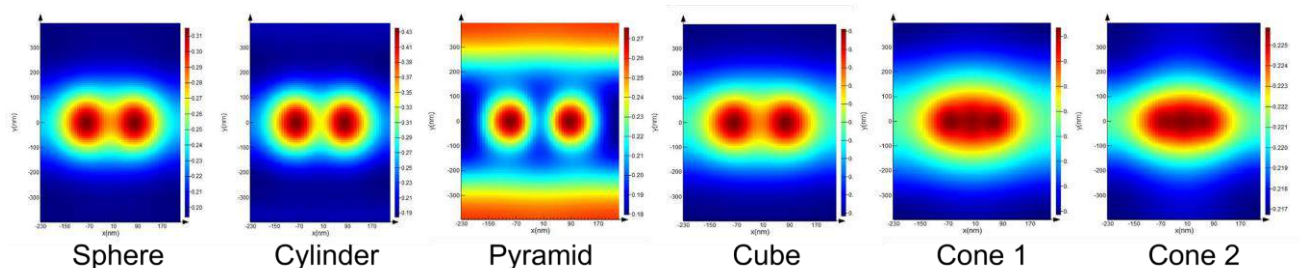


Fig 6. The electric field distribution in the active layer surrounding the same size NPs for different shapes

Fig 6 depicts the distribution of electric field by simulation monitor for different shapes at the same size. It is noticed that some shapes distribute electric field around them higher than the others and this is the reason why different shapes have different optical absorption and hence photocurrent density although they have the same size. The most interesting distribution is that for the nanopyramid whose scattering was the highest among all NPs shape.

4. Conclusions

The optical absorption and photocurrent density enhancement were studied for possible plasmonic enhancement. Gold nanoparticles are embedded in the active area of the proposed structure. In-house 3D FDTD software was used in simulation to study the impact of the nanoparticles with various sizes and shapes. For instance, we get J_{sc} of 15.3 mA/cm^2 and enhancement percentage of 14.2% compared to the planar structure for nanospheres with radius 30 nm. Also, we obtained J_{sc} of 15.69 mA/cm^2 and enhancement percentage of 17.1% with cube length of 48.37 nm.

The nanocone gave the best enhancement at vertex angle of $\Theta=30^\circ$ and height of 68.7 nm. For nanocylinders, radius = 40 nm and

height 29.9 nm results in the best improvement. We may conclude that, among all shapes of NPs the best shape is pyramidal which leads to a photocurrent density of $16.12 \text{ (mA/cm}^2)$ and enhancement percentage of 20.3 % compared to the base structure.

References

- [1] H.L. Huang, C.T. Lee, H.Y. Lee, Performance improvement mechanisms of P3HT: PCBM inverted polymer solar cells using extra PCBM and extra P3HT interfacial layers. *Org. Electron.* 21,126–131, 2015.
- [2] Dan Chi, Shengchun Qu, Zhanguo Wang and Jizheng Wang, High efficiency P3HT:PCBM solar cells with an inserted PCBM layer, *J. Mater. Chem. C*, 2, 4383, 2014.
- [3] S. Y. Chang, P. Cheng, G. Li and Y. Yang, Joule, Transparent polymer photovoltaics for solar energy harvesting and beyond, 2, 1039–1054, 2018.
- [4] Anjusree S., Arya K. R. and Bikas C. Das” Air-processed active-layer of organic solar cells investigated by conducting AFM for precise defect detection” *RSC Adv.*, 10, 24882, 2020.
- [5] J. Y. Zhou, X. J. Wan, Y. S. Liu, G. K. Long, F. Wang, Z. Li, Y. Zuo, C. X. Li and Y. S. Chen” A bipolar small molecule based on indacenodithiophene and diketopyrrolopyrrole for solution processed organic solar cells” *Chem. Mater.*, 23,4666–4668, 2011.
- [6] Hongkyu Kang, Geunjin Kim, Junghwan Kim, Sooncheol Kwon, Heejoo Kim, and Kwanghee Lee, Bulk-Heterojunction Organic Solar Cells: Five Core Technologies for Their Commercialization” *Adv. Mater.*, 287821–7861, 2016.
- [7] B. Siegmund, M. T. Sajjad, J. Widmer, D. Ray, C. Koerner, M. Riede, K. Leo, I. D. W. Samuel and K. Vandewal, Exciton Diffusion Length and Charge Extraction Yield in Organic Bilayer Solar Cells” *Adv. Mater.*, 29, 1604424, 2017.
- [8] V. Shrotriya, G. Li, Y. Yao, C. W. Chu and Y. Yang, Transition metal oxides as the buffer layer for polymer photovoltaic cells” *Appl. Phys. Lett.*, 88, 073508, 2006.
- [9] A. Tada, Y. F. Geng, Q. S. Wei, K. Hashimoto and K. Tajima, Tailoring organoheterojunction interfaces in bilayer polymer photovoltaic devices” *Nat. Mater.*, 10, 450455, 2011.
- [10] B. Kadem, W. Cranton, A. Hassan, Metal salt modified PEDOT: PSS as anode buffer layer and its effect on power conversion efficiency of organic solar cells. *Org. Electron.* 24, 73–79, 2015.
- [11] Barbara Paci, Amanda Generosi, Valerio Rossi Albertini, George D. Spyropoulos, Emmanuel Stratakis and Emmanuel Kymakis” Enhancement of photo/thermal stability of organic bulk heterojunction photovoltaic devices via gold nanoparticles doping of the active layer” *Nanoscale*, 4, 7452, 2012.
- [12] Peng Xu, Liang Shen, Fanxu Meng, Jiaqi Zhang, Wenfa Xie, Wenjuan Yu, Wenbin Guo, Xu Jia, and Shengping Ruan” The role of Ag nanoparticles in inverted polymer solar cells: Surface plasmon resonance and backscattering centers” *APPLIED PHYSICS LETTERS* 102, 123301, 2013.
- [13] Zhihai Liu, Seung Yong Lee, and Eun-Cheol Lee, Copper nanoparticle incorporated plasmonic organic bulk-

- heterojunction solar cells” APPLIED PHYSICS LETTERS 105, 223306, 2014.
- [14] Eng Liang Lim, Chi Chin Yap, Mohd Asri Mat Teridi, Chin Hoong Teh, Abd Rashid bin Mohd Yusoff, Mohammad Hafizuddin Hj Jumali ” A review of recent plasmonic nanoparticles incorporated P3HT: PCBM organic thin film solar cells” E.L. Lim et al., Organic Electronics 36,2016.
- [15] Zahra Arefinia and Dip Prakash Samajdar” Novel semi-analytical optoelectronic modeling based on homogenization theory for realistic plasmonic polymer solar cells” Scientific Reports, Vol.:(0123456789), 11:3261, 2021.
- [16] Lin Feng, Mengsi Niu, Zhenchuan Wen and Xiaotao Hao, “Recent Advances of Plasmonic Organic Solar Cells: Photophysical Investigations” Polymers, 10, 123, 2018.



Synthesis and Characterization of Limonene-Based Sulfur Polymer

Ramazan Orhan^{1*}, Ercan Aydoğmuş²

^{1*} Firat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0003-2287-4238), rorhan@firat.edu.tr

² Firat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Turkey, (ORCID: 0000-0002-1643-2487), ercanaydogmus@firat.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1022852)

ATIF/REFERENCE: Orhan, R. & Aydoğmuş, E. (2021). Synthesis and Characterization of Limonene-Based Sulfur Polymer. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1517-1520.

Abstract

In this research, a sulfur-based polymer has been synthesized with limonene extracted from orange peels. The synthesis process has been carried out by dropping limonene at 0 wt.%, 0.5 wt.%, 1 wt.%, 2 wt.%, and 4 wt.% ratios into the molten sulfur. The change in the chemical bond structure of the synthesized sulfur-based polymer is determined by Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR). Moreover, the density, Shore D hardness, and thermal conductivity coefficient of the sulfur-based polymer are also characterized. According to the evaluations, it has been seen that limonene extracted from 1% orange peel gave the best results. It has been observed that the polymerization efficiency is low when used below 1 wt.% by mass. At higher rates, Shore D hardness of the sulfur-based polymer decreases, thus a softer polymer is obtained. Besides, the density of the sulfur-based polymer is approximately 2067 kg/m³, and the thermal conductivity coefficient is measured at an average of 0.25 W/m·K. As the content of limonene in the polymer mixture raises, the thermal conductivity coefficient decreases and a more porous structure is formed.

Keywords: Limonene, sulfur polymer, synthesis, characterization.

Limonen Bazlı Kükürt Polimerinin Sentezi ve Karakterizasyonu

Öz

Bu araştırmada, portakal kabuklarından ekstrakte edilen limonen ile kükürt bazlı bir polimer sentezlenmiştir. Sentez işlemi, erimiş kükürt içerisine kütlece % 0, % 0.5, % 1, % 2 ve % 4 oranında limonen damlatılarak gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen kükürt bazlı polimerin kimyasal bağ yapısındaki değişiklik Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektrofotometresi (FTIR) ile belirlenmiştir. Ayrıca, kükürt bazlı polimerin yoğunluğu, Shore D sertliği ve termal iletkenlik katsayısı da karakterize edilmiştir. Yapılan değerlendirmelere göre en iyi sonuçlar ağırlıkça % 1 portakal kabuğundan ekstrakte edilen limonen ile elde edilmiştir. Kütlece % 1'in altında limonen kullanıldığında polimerizasyon veriminin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Daha yüksek oranlarda limonene kullanımı kükürt bazlı polimerin Shore D sertliği azaltmış ve böylece daha yumuşak bir polimer sentezlenmiştir. Ayrıca, kükürt bazlı polimerin ortalama yoğunluğu yaklaşık 2067 kg/m³ ve ısıl iletkenlik katsayısı da 0.25 W/m·K olarak ölçülmüştür. Polimer karışımındaki limonen içeriği arttıkça ısıl iletkenlik katsayısı düşmüş ve daha gözenekli bir yapı oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: Limonen, kükürt polimeri, sentez, karakterizasyon.

1. Introduction

Sulfur, the most abundant element in the universe has been used for many centuries as an antibacterial agent, in gun powder formulation, fabric bleaching, and more recently vulcanization for latex [1-3]. Today, sulfur is a waste by-product of the petroleum refining industry (purification of crude oil and gas reserves), where SO₂ is removed and converted, by hydrodesulfurization, to S₈ [4]. Over 70 million tonnes of sulfur is produced annually, with only a small fraction of this being used for the production of commodity chemicals such as sulfuric acid and fertilizers [5, 6]. Despite this, as production outstrips demand, it poses a large of sulfur stocks and a global problem known as the "excess sulfur problem" in the petrochemical industry. Therefore, this unwanted elemental sulfur needs to be converted into useful materials for commercial applications. Sulfur polymers are a candidate to consume this excess sulfur and become an alternative to traditional synthetic polymers.

Sulfur exhibits unique thermal transitions from orthorhombic to monoclinic at around 95 °C (a solid-solid state transition) and begins to melt into a yellow liquid when heated to 120°C [7]. Above 160 °C, the molten sulfur undergoes ring-opening polymerization and becomes an amorphous, viscous material, and its color darkens from yellow to orange and finally to red. With increasing temperature, the viscous sulfur transforms into a red-colored high molecular weight poly-sulfur at about 200°C. It should be noted that even the color changes of sulfur are a mystery and a matter of debate, with Meyer stating in his study that when polymeric sulfur is quenched as a thin film at 200 °C, its appearance is not red but yellow [8]. Meyer also concluded in another study that the overall red appearance arises from the presence of organic impurities, or the smaller sulfur molecules S₃ and S₄ [9]. However, the polymeric sulfur is thermodynamically unstable at room temperature and slowly reverts to the more stable cyclooctasulfur (S₈), which makes it difficult to directly use these polymers for material application. The reverting could be due to the presence of active sulfur radicals in the chain terminal. Thus, the termination of active radicals is very important to reach a stable polymer. Pyun et al. reported that the inverse vulcanization technique allows the stabilization of sulfur polymers by a small organic molecule such as 1,3-diisopropenyl benzene, which acts as a crosslinker against depolymerization [5].

The resulting polymers were given the name poly(sulfur-random-(1,3-diisopropenyl benzene)), and are written in shorthand here as poly(S-r-DIB), where "S" represents sulfur, "r" refers to the random nature of the binding, and DIB represents the aforementioned co-monomer. In general, this process affords statistical copolymers with randomized connectivity of sulfur and DIB co-monomer units, thus various concentrations of co-monomer may be included in the polymers. In the literature, various petro-based monomers such as divinylbenzene [10], dicyclopentadiene [11], ethylene glycol dimethyl acrylate [12] have been investigated to be copolymerized with sulfur employing the inverse vulcanization process. However, these monomers used are relatively expensive compared to sulfur. Therefore, there has been increased interest in using edible, economical, and low-cost bio-based crosslinkers such as limonene [13]. Sulfur polymers produced using the inverse vulcanization process have shown promising properties in various applications such as active material for Li-S battery [14], mercury

capture [15], hydrocarbon removal [16], adhesives [17], infrared optics [18], and fertilizers [19].

In this research, firstly, limonene obtained under laboratory conditions is used as a crosslinker. The physical and chemical changes in the structure of the sulfur-based polymer produced by using limonene in different mass ratios have been evaluated. Optimization studies of the polymer obtained following the intended use are made and the main effective parameters are determined.

2. Material and Method

In this study, orange peels are extracted under experimental conditions and the oil phase is separated with a separatory funnel. Limonene solutions, which are present in large amounts in the oil phase, are prepared in different proportions by mass. In addition, homogeneous melting of powdered sulfur is ensured at 130 °C. The temperature of the mixture prepared under experimental conditions is increased up to 180 °C, and limonene is added dropwise and mixed. Mixing is done for about 10 minutes for both color change and gelation to occur in the mixture. The resulting sulfur-based polymer is poured into standard molds and waited 24 hours for curing. It has been made for the synthesized product for some physical and chemical characterization processes.

Figure 1 shows the synthesis process of limonene from orange peel under laboratory conditions. There is a high content of limonene (oil phase) in the extract phase. After various purification and chemical characterization processes, limonene is prepared for polymerization.

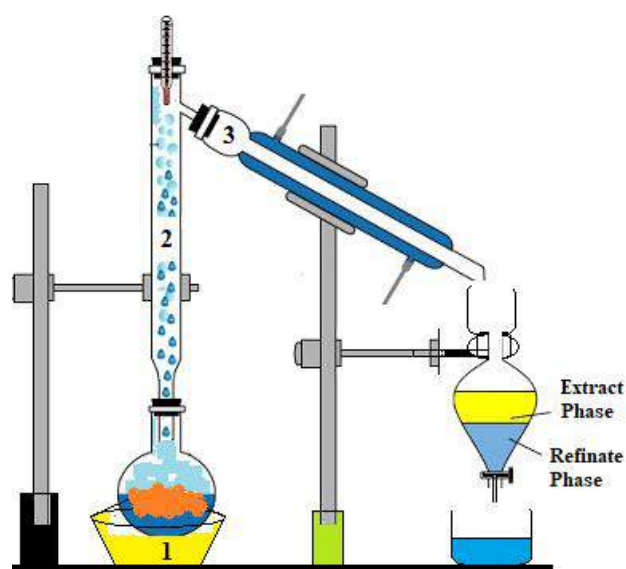


Fig. 1. Experimental scheme of the synthesis of limonene from orange peel (1: heating, 2: extraction column, 3: condenser system, and separatory funnel)

The chemical formula of limonene obtained from orange and lemon peels is shown in Figure 2.

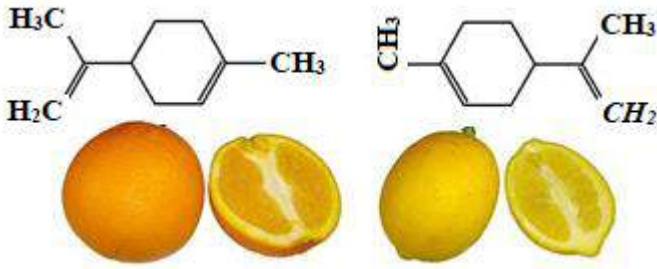


Fig. 2. The chemical formula of the synthesis of limonene

3. Results and Discussion

The properties of the synthesized polymer performed under laboratory conditions are given in Table 1.

Table 1. Experimental results for sulfur polymer

Limonene (wt.%)	Shore D Hardness	k (W/m·K)	ρ (kg/m ³)
0.0	34	0.27	2074
0.5	41	0.26	2070
1.0	57	0.25	2067
2.0	52	0.23	2058
4.0	48	0.21	2045

It is seen in Figure 3 that the synthesized polymer reached the maximum Shore D hardness at the optimum limonene ratio (1 wt.%).

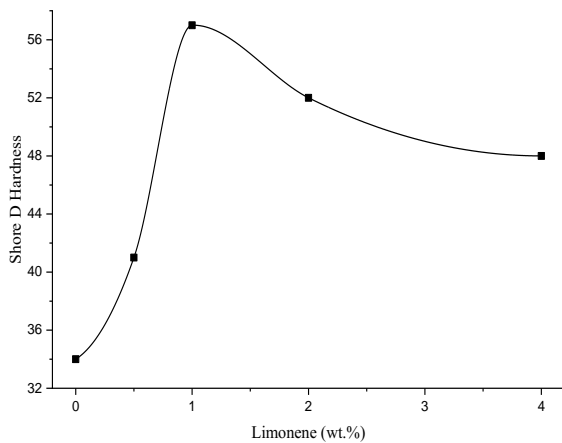


Fig. 3. Variation of Shore D hardness of sulfur-based polymer with limonene ratio

Increasing the content of limonene increased the porous structure of the sulfide-based polymer and decreased the thermal conductivity coefficient (Fig. 4.).

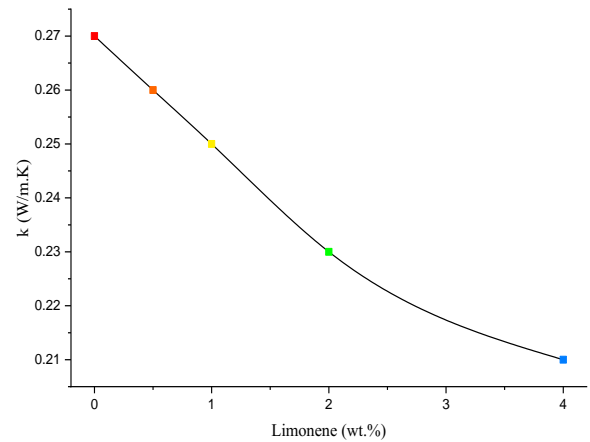


Fig. 4. Change of thermal conductivity of sulfur-based polymer with limonene ratio

In Figure 5, it has been determined that as the content of limonene increases, the density decreases in the sulfur polymer synthesized with bio additive.

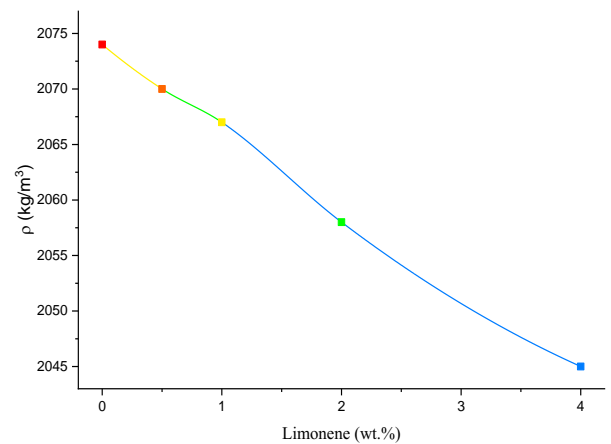


Fig. 5. Variation of the density of sulfur-based polymer with limonene ratio

According to the FTIR (Fig. 6), the peak in the spectrum of the sulfur powder showed that it is lost in the synthesized polymer, that is, it has been used in the cross-linking. Chemical bonds of limonene crosslinker have been determined in the sulfur-based polymer obtained in the FTIR spectrum.

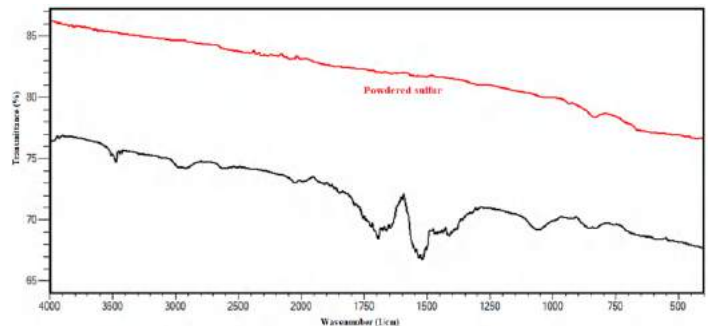


Fig. 6. FTIR spectrum sulfur and sulfur-based polymer

4. Conclusions and Recommendations

According to the results obtained, both the density and thermal conductivity coefficient of the sulfur-based polymer decreased as the ratio of limonene increased. However, Shore D hardness of the synthesized polymer reached its maximum at 1 wt.% limonene.

To synthesize limonene-based polymers, powdered sulfur must reach the boiling point. Limonene, which is synthesized from orange peels, should be dropped into the mixture to both increase the temperature and ensure a homogeneous mixture. Before the physical tests and chemical characterization of the obtained polymer, 24 hours should have waited for the curing.

References

- J. M. Chalker, Kucera. L. Renata and M. J. H. Worthington, *Green Chem.* 1–6, 2017.
- B. Seel, F. Muller, A. Krebs, *Sulfur in History: The role of sulfur in 'Black Powder', in Sulfur-Its Significance for Chemistry, for the Geo-Bio and Cosmophere and Technology*, Elsevier, 5th edn., 1984.
- Y. Zhang, R. S. Glass, K. Char, and J. Pyun, *Polym. Chem.* 10, 4078–4105, 2019.
- R. J. Angelici, *Acc. Chem. Res.* 21, 387–394, 1988.
- W.J. Chung, J.J. Griebel, E.T. Kim, H. Yoon, A.G. Simmonds, H.J. Ji, J. Pyun. *The use of elemental sulfur as an alternative feedstock for polymeric materials*, *Nat. Chem.* 5 (6), 518-524, 2013.
- Washington. D.C Environ. Prot. Agency. 1–4, 1991.
- K.K. Jena, S.M. Alhassan *Melt processed elemental sulfur reinforced polyethylene composites* *J. Appl. Polym. Sci.*, 133 (9), 2015.
- B. Meyer, *Elemental Sulfur*, *Chem. Rev.* 76 (3), 367 – 388, 1976.
- B. Meyer, T. V. Oommen, D. Jensen, J. *Color of liquid sulfür*, *J. Phys. Chem.* 75 (7), 912–917, 1971.
- M. Arslan, B. Kiskan, E. C. Cengiz, R. Demir-Cakan, and Y. Yagci, *Inverse Vulcanization of Bismaleimide and Divinylbenzene by Elemental Sulfur for Lithium Sulfur Batteries*, *Eur. Polym. J.* 80, 70–77, 2016.
- D. J. Parker, H. A. Jones, S. Petcher, L. Cervini, J. M. Griffin, R. Akhtar and T. Hasell, *Low Cost and Renewable Sulfur-Polymers by Inverse Vulcanisation, and Their Potential for Mercury Capture*, *J. Mater. Chem. A.* 5, 11682–11692, 2017.
- J. A. Smith, S. J. Green, S. Petcher, D. J. Parker, B. Zhang, M. J. H. Worthington, X. Wu, C. A. Kelly, T. Baker, C. T. Gibson, J. A. Campbell, D. A. Lewis, M. J. Jenkins, H. Willcock, J. M. Chalker, and T. Hasell, *Crosslinker Copolymerization for Property Control in Inverse Vulcanization*, *Chem. – Eur. J.* 10433–10440, 2019.
- M.P. Crockett, AM Evans, MJH Worthington, IS Albuquerque, AD Slattery, CT Gibson, JA Campbell, DA Lewis, GJL Bernardes, JM Chalker, *Angew. Kimya Int. Ed.* 55, 1714, 2016.
- A. Hoefling, Y.J. Lee, P. Theato. *Sulfur-based polymer composites from vegetable oils and elemental Sulfur: a sustainable active material for Li – S batteries* *Macromol. Chem. Phys.* 1-9, 2016.
- A.D. Tikoalu, N.A. Lundquist, J.M. Chalker. *Mercury sorbents made by inverse vulcanization of sustainable triglycerides: the plant oil structure influences the rate of mercury removal from water* *Adv. Sustain. Syst.* 1900111, 1-9, 2020.
- M.J.H. Worthington, C.J. Shearer, L.J. Esdaile, J.A. Campbell, C.T. Gibson, S.K. Legg, Y. Yin, N.A. Lundquist, J.R. Gascooke, I.S. Albuquerque, J.G. Shapter, G.G. Andersson, D.A. Lewis, G.J.L. Bernardes, J.M. Chalker. *Sustainable polysulfides for oil spill remediation* *ACS Cent. Sci.* 1-7, 2018.
- C. Herrera, K.J. Ysinga, C.L. Jenkins *Polysulfides synthesized from renewable garlic components and repurposed sulfur form environmentally friendly adhesives* *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 11, 35312-35318, 2019.
- D.A. Boyd, V.Q. Nguyen, C.C. McClain, F.H. Kung, C.C. Baker, J.D. Myers, M.P. Hunt, W. Kim, J.S. Sanghera. *Optical properties of a sulfur-rich organically modified chalcogenide polymer synthesized via inverse vulcanization and containing an organometallic comonomer*, *ACS Macro Lett.* 8, 113-116, 2019.
- S.F. Valle, A.S. Giroto, R. Klaić, G.G.F. Guimar. *Sulfur fertilizer based on inverse vulcanization process with soybean oil* *Polym. Degrad. Stabil.*, 162, 2019, 102-105.



New Design Compounds for Bone Cancer Treatment: Broader Bioactivity of Silicon Modified Methotrexate

Easma Eryılmaz Doğan*

¹Department of Biomedical Engineering, Faculty of Technology, Selcuk University, Turkey, (ORCID ID 0000-0001-6809-7513), *(eeryilmaz@selcuk.edu.tr)

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1019547)

ATIF/REFERENCE: Eryılmaz Doğan, Easma (2021). New Design Compounds for Bone Cancer Treatment: Broader Bioactivity of Silicon Modified Methotrexate. *European Journal of Science and Technology*, (28), Xx-Xx.

Abstract

Complex diseases such as cancer are mostly described by combining negative effects of multiple biological factors or pathways. Based on that, multi-targeted approach for treating cancer is gaining interest. The aim of this study is to introduce a computational approach and to design new, multi-targeted drug candidates for treatment of bone cancer. In this approach, the FDA approved drugs of bone cancer were evaluated in terms of their molecular pharmaceutical properties and their bioactivity parameters predicted by bioinformatics and cheminformatics softwares. Among them, Methotrexate was chosen as a lead molecule due to its broader spectrum of bioactivity on the most important drug targets reported in literature. The lead molecule was exposed to basic bioisosteric modifications to obtain a better drug compound with improved bioactivity and a stronger drug-likeness profile using the known drug structure. Design compounds produced by a number of bioisosteric modifications performed on the 2D structure of the lead compound were evaluated in terms of both criteria; bioactivity and drug-likeness. Silicone modified compounds M4, M13, M14, and M15 showed a much broader spectrum of biological activity than that of the approved compound Methotrexate. The interesting effect of silicone incorporation makes our compounds promising drug candidates for further pharmaceutical investigation.

Keywords: in silico, computer aided drug design, bone cancer, ADME, bioactivity, drug-likeness

1. Introduction

Bioinformatics have been found a common place among biomedical sciences along with the exponentially increasing number of technological devices used in the experimental bioscience. It is extensively used in the field of drug design and discovery to decrease the laboratory cost and to help with understanding the experimental observations. So called with Computer Aided Drug Design (CADD) not only fastens the actual drug discovery process, but also diminishes the actual cost required to perform the whole new drug development steps. Since the CADD is basically dealing with a number of molecular database, molecular physico-chemical, pharmacological, and structural properties, bioinformatics is the central field of drug development [4, 5]. During the development process, possible therapeutic agents can be modeled using molecular modeling softwares, and their molecular structural properties can be calculated using quantum chemical calculations. Using molecular editing softwares, a variety of possible modifications are created, and their molecular properties are recalculated to improve desired combinations of physico-chemical properties and to decrease possible side effects of the new design drug candidates for a disease of interest.

Molecular editing or designing new molecules are important part of the early stage of CADD. For that, bioisosterism is commonly used among researchers to design new therapeutic agents using the known drug structures. Bioisosteres are defined by Burger as 'Compounds of groups that possess near-equal molecular shapes and volumes, approximately the same distribution of electrons, and which exhibit similar physical properties' [7]. Using the definition and the members of bioisosteric groups reported in literature and summarized partially in Table 1, we can create different design compounds, calculate their physico-chemical properties using bioinformatics and cheminformatics softwares, and evaluate them in terms of drug-likeness criteria. The most promising candidates with a higher drug-likeness score and with a broader bioactivity profile are chosen for further pharmacological research such as synthesizing the compounds, examining 'in vitro' cell interaction parameters, animal testing, and clinical trials, respectively.

Bone and joint cancer (sarcomas) is rare, but it is mostly seen in children and young adults. It can be malignant and can destroy nearby tissue and distant organs. According to the National Institute of Health (NIH), an estimated 3600 people from the U.S population will be diagnosed this year and approximate 11% of these cases will occur at the age of 15 to 19. The estimated death is reported as 1720 people in 2020 (<https://www.cancer.gov/>). Based on the cases reported in between 2010–2016, the 5-year survival rate is given as 66% which need to be improved. And yet, current drugs used in the treatment of bone cancer causes side effects including hearing, fertility, and neurological problems. On the basis of the statistics, better alternatives to the current approved bone cancer drugs with improved pharmacological effect is crucial.

For complex diseases such as cancer, multiple factors or pathways contribute to the disease process simultaneously [9, 10]. Based on the fact, cancer treatment agents are recently designed to target multiple proteins and/or to interact with multiple pathways. So called multi-targeted therapy has growing interest in last a few decades [11, 12]. We, therefore, discuss, in this study, 'in silico' drug design with multi-targeted manner meaning a

broad range of biological activity on the most important drug targets to develop new therapeutic agents for the treatment of bone cancer.

2. Material and Method

The FDA (The U.S Food and Drug Administration) approved small molecule drugs used for bone cancer treatment were extracted from the official website of the National Cancer Institute, the National Institute of Health of USA (NIH), <https://www.cancer.gov/>. SMILES codes taken from the unique bioinformatics and cheminformatics resource DrugBank 5.1.1 <https://www.drugbank.ca/> [13] were used to perform all the analysis.

2.1. Design Compound Preparation

Different types of information about cancer including the approved drugs for treatment, cancer prevention, diagnosis, or clinical trials can be found in the central website of <https://www.cancer.gov/>, supported by the National Cancer Institute of U.S. After listing the approved drugs for bone cancer treatment, the detailed information including SMILES codes, 2D structures, and 3D structures were taken from the DrugBank database. Using the SMILES, editing and/or modifying the 2D structure of the marketed drugs, the novel structures were created by Molinspiration software. The new design structures were then investigated in terms of their drug-likeness score and bioactivity properties.

2.2. Evaluation of Drug-Likeness

Investigation of the approved drugs showed that some basic molecular properties can be used to evaluate a compound, if it was a good oral drug candidate or not. These properties are composed of some structural and physico-chemical properties of a molecule such as lipophilicity, polar surface area, the number of hydrogen bond donor and the number of hydrogen bond acceptor. Based on this fact, different groups were listed in literature with their drug-likeness criteria using the basic molecular properties. In this study, five different drug likeness criteria reported by Lipinski [1], Ghose [2], Veber [6], Egan [8], and Muegge [3] were used to evaluate the approved drugs and new design molecules.

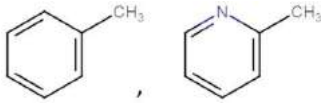
2.3. Prediction of Bioactivity

Drug molecules and new design compounds were evaluated according to their biological activity across the most targeted class of molecules such as kinase inhibitors, G-protein coupled receptors (GPCR), nuclear receptors, ion channel modulators, protease, and enzyme inhibitors by using Molinspiration software. Online cheminformatics tool SwissADME, <http://swissadme.ch/>, was used for the detailed search of drug likeness properties and ADME parameters.

2.4. Bioisosterism

Bioisosters are defined as atoms or group of atoms which have different structure but are recognized similarly by biosystems. Therefore, we used the concept of bioisosterism to create new bioactive compounds against bone cancer using the known structure of the approved drugs. Classical bioisosters grouped as shown in Table 1.

Table 1. The classical bioisosteric groups

Classes	Bioisosteric groups
Monovalent	-OH, NH ₂ , -CH ₃ , -F, -Cl, -Br, -Si ₃
Divalent	C=C, C=N, C=O, C=S, -CH ₂ -, -NH-, -O-, -S-
Trivalent	-CH=, -N=
Tetravalent	R ₄ C, R ₄ Si, R ₄ N ⁺
Ring equivalent	

3. Results and Discussion

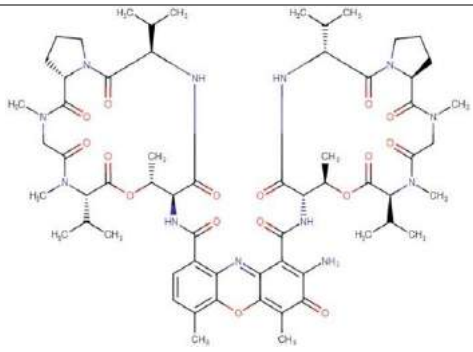
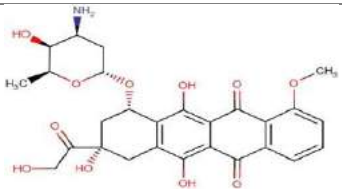
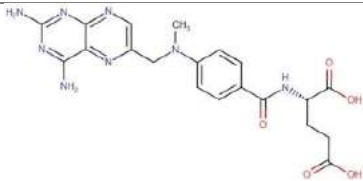
We investigated the approved small molecule drugs used in the treatment of bone cancer obtained from the central cancer website of the U.S., <https://www.cancer.gov>. That was concluded

with three molecules listed in Table 2. We examined both of the approved drugs listed in the Table 2 and the new design compounds created by bioisosteric modifications in terms of two classifications; drug-likeness score and biological activity across the most important drug targets.

3.1. Physico-chemical Properties and Drug-likeness

Drug-likeness score is evaluated based on the combination of the physico-chemical and the structural properties of the molecule [14,15]. Based on these combinations, drug-likeness criteria are reported in literature by different group of researchers. Small molecule drug candidates are evaluated in terms of those molecular properties such as Log P (P is the calculated partition coefficient), molecular weight, number of rotatable bonds, number of hydrogen bond donor and hydrogen bond acceptor to evaluate to what level the molecule close to be a good bioavailable drug. Log P value is often used in drug discovery process to describe the molecular hydrophobicity or lipophilicity. Negative Log P value represents hydrophilic nature, while a positive Log P value indicates hydrophobicity. It is also used in many pharmacology related terms such as toxicity, solubility (Log S), even binding affinity of the compound to a target molecule.

Table 2. The names, the 2D structures and the physico-chemical properties of the marketed drugs used for bone cancer treatment were listed. ^aLogarithm of partition coefficient (MiLog P), ^bMolecular weight in the unit of gr/mol (MW), ^cTopological polar surface area (TPSA) in the unit of Å, ^dThe number of hydrogen bond donor and ^eacceptor.

Drug Name	2D structure	MiLogP ^a	MW ^b	TPSA ^c	nOH ^d	nOHNH ^e
Dactinomycin		0.78	1255.4	359.9	28	6
Doxorubicin		0.57	543.5	206.1	12	7
Methotrexate		-1.97	454.4	210.5	13	7

Molecular properties of the approved drugs Dactinomycin, Doxorubicin, and Methotrexate were summarized in Table 2 and drug-likeness criteria were provided in the second column Table 3. From our list, Dactinomycin and Doxorubicin showed a low hydrophobic nature with the score of 0.78 and 0.57, respectively, while Methotrexate resulted in a hydrophilic nature with the score of -1.97, which were all fall in the range of the criteria to be less than 5. Topological polar surface area, on the other hand, is another criterion to be confirmed as less than 150 Å² according to Muegge's criteria shown in Table 3. Our calculations showed that all of three molecules violated that which was interpreted as possible reasons of the negative side effects of the drug compounds to take care during the process of designing new molecules. Possible modifications should be in a way of decreasing polarity of the molecular surface to create better design drug compounds.

The numbers of rotatable bonds are also restricted to have a more stable molecule and a less number of possible conformations to be tested in the experimental process. Molecular weight should also be equal or less than 500 due to the ease solubility and the diffusion of the molecule through lipid bilayer

membrane. More explanation regarding the rest of the molecular pharmaceutical descriptors can be found in our previous study [16]. From our list of drug molecules, we have seen that all molecules except Methotrexate violated the criteria with a quite high molecular weight. Methotrexate obeys the rule with a weight of 454.4.

According to the mostly known Lipinski's criteria called 'rule of five', molecular weight should be less than 500, mLog P value less than 5, the number of hydrogen bond donor and hydrogen bond acceptor should be less than 5 and 10, respectively [1]. Overall, when we evaluate the three drugs approved for bone cancer, Dactinomycin and Doxorubicin showed quite negative profile in terms of physico-chemical properties and drug-likeness profile as shown in Table 3. Specifically, Dactinomycin violated all of the criteria with excess molecular weight and higher number of hydrogen bond donor. Methotrexate, on the other hand, remained a more promising structure as a good bioavailable lead molecule structure. Therefore, for our further investigation, the structure of Methotrexate was used as a lead structure.

Table 3. Drug-likeness criteria reported in the literature. MW: Molecular weight. nOHNH: Number of hydrogen bond donors. nOH: Number of hydrogen bond acceptors. mLog P: Logarithm of partition coefficient. TPSA: Topological polar surface area. MR: Molar refractivity. Nat: Number of heavy atoms. Nrotb: Number of rotatable bonds. Nrings: Number of rings. Ncarbon: Number of carbon atoms.

	Drug-likeness criteria	Dactinomycin	Doxorubicin	<u>Methotrexate</u>
Lipinski 2001[1]	MW≤500, nOH≤10 mLog P≤4.15, nOHNH≤5	No, 2 vio.	No, 3 vio.	Yes
Ghose 1999 [2]	160≤MW≤480, -0.4≤Wlog P≤5.6 40≤MR≤130, 20≤atoms≤70	No, 4 vio.	No, 2 vio.	Yes
Muegge 2001 [3]	200≤MW≤600, -2≤xLogP≤5 TPSA≤150, Nrotb≤15, Nrings≤7, Ncarbon>4 nOHNH≤5, nOH≤10	No, 3 vio.	No, 3 vio.	No, 1 vio.
Veber 2002 [6]	Nrotb≤10, TPSA≤140	No, 1 vio.	No, 1 vio.	No, 1 vio.
Egan 2000 [8]	WLogP≤5.88, TPSA≤131.6	No, 1 vio.	No, 1 vio.	No, 1 vio.

3.2. Evaluation of Multi-Targeted Bioactivity

The second approach we applied to the compounds is the evaluation of bioactivity scores. Computational bioactivity score

is basically an indicator of how strong the molecule interacts with the target molecule which is mostly a protein. The virtual screening results of the Molinspiration software are represented as color coded. Positive activity scores equal or higher than 0.50

texts in dark green indicating a good bioactivity behavior and the scores between 0.20 and 0.5 is considered to represent a moderate bioactivity by coloring with light green.

For designing process, we first calculated the activity scores for the approved drugs and the results were shown in Table 4. Dactinomycin showed no bioactivity with all negative scores on the target proteins. Doxorubicin and Methotrexate, on the other hand, showed bioactivity on certain targets. While Doxorubicin was resulted in a good activity with a score of 0.67 and 0.66 across protease and enzyme inhibitors, respectively, Methotrexate showed a good activity across GPCR and enzyme inhibitors with the scores of 0.51 and 0.72 and a moderate activity on ion channel moderator, kinase, and protease inhibitors with the scores of 0.23, 0.38, and 0.27, respectively. GPCR, among other targets, was reported as the most targeted class of compounds [17]. Therefore, Methotrexate was chosen as a lead molecule for further investigation due to both its better drug-likeness profile and its higher bioactivity score.

Table 4: Biological activity scores of the approved drugs for bone cancer across G-Protein CR, ion channel modulator (ICM), kinase inhibitors (KI), nuclear receptor ligands (NRL), and protease (PI) and enzyme inhibitors (EI).

Drug Name	GPCR	ICM	KI	NRL	PI	EI
Dactinomycin	-0.38	-3.95	-3.96	-3.96	-3.83	3.90
Doxorubicin	0.20	-0.20	-0.07	-0.32	0.67	0.66
Methotrexate	0.51	0.23	0.38	-0.38	0.27	0.72

3.3. Physico-chemical Properties

For obtaining new design multi-targeted therapeutic agents, we tried to improve the drug-likeness profile and the number of activity shown across the drug targets. In order to obtain a better alternative than the marketed drug Methotrexate, the molecular structure of Methotrexate shown in Figure 1 was exposed to modifications using monovalent bioisosteres listed in Table 1. The modifications were replaced to the end of X and Y shown in the Figure 1. The new design structures were re-evaluated in terms of bioactivity and the results were tabulated. The process was repeated till obtaining a broader spectrum of activity than that of the approved drug Methotrexate. The fifteen analogs of Methotrexate listed in Table 5 were investigated to obtain a better structure than Methotrexate itself. Our investigation was resulted in that silicon based structures such as M4, M13, M14, and M15 interestingly possessed an improved bioactivity on almost all of the drug targets. We also re-evaluated these promising compounds in terms of their physico-chemical properties and drug-likeness criteria to decrease the number of possible structure for testing in experimental process and decreasing the laboratory cost. Their drug-likeness profiles were similar to that of Methotrexate, so we believed that these new design compounds were worth to try in the next steps of drug development.

Table 5. Bioactivity scores of Methotrexate and its fifteen analogs across the most important drug targets predicted by Molinspiration. GPCR G-Protein coupled receptor, ICM ion channel modulator, KI kinase inhibitors, NRL nuclear receptor ligands, and PI protease inhibitors and EI enzyme inhibitors.

Compound	X	Y	GPCR	ICM	KI	NRL	PI	EI
Methotrexate	COOH	CH ₃	0.51	0.23	0.38	-0.38	0.27	0.72
M1	B(OH) ₂	CH ₃	0.46	0.22	0.42	-0.29	0.65	1.20
M2	NH ₂	CH ₃	0.62	0.35	0.53	-0.44	0.39	0.80
M3	SiH ₃	CH ₃	0.55	0.29	0.44	-0.43	0.29	0.78
M4	Si(CH ₃) ₃	CH ₃	0.76	0.49	0.60	-0.40	0.53	1.07
M5	COOH	SiH ₃	0.47	0.16	0.34	-0.47	0.27	0.63
M6	COOH	Si(CH ₃) ₃	0.54	0.22	0.39	-0.43	0.38	0.73

M7	COOH	OH	0.30	0.04	0.16	-0.66	0.29	0.64
M8	COOH	F	0.47	0.16	0.35	-0.46	0.27	0.63
M9	COOH	Cl	0.47	0.16	0.34	-0.47	0.26	0.63
M10	BH ₂	OH	0.26	-0.06	0.17	-0.73	0.30	0.75
M11	B(OH) ₂	OH	0.25	-0.05	0.20	-0.57	0.67	1.12
M12	Si(CH ₃) ₃	OH	0.55	0.23	0.39	-0.67	0.55	0.99
M13	Si(CH ₃) ₃	B(OH) ₂	0.67	0.37	0.57	-0.35	0.67	1.08
M14	Si(CH ₃) ₃	F	0.71	0.42	0.57	-0.48	0.52	0.98
M15	Si(CH ₃) ₃	Cl	0.71	0.42	0.57	-0.49	0.52	0.98

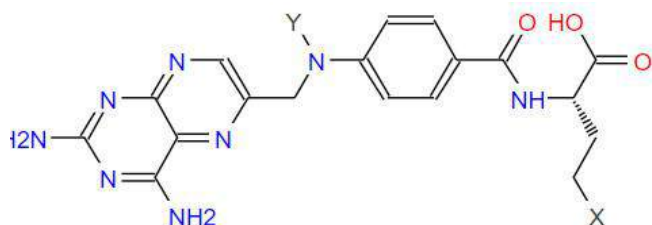


Fig. 1. 2D molecular structure of Methotrexate with X and Y substitutions to be used in Table 5.

4. Conclusion

In our *in silico* drug design approach, we first investigated the existing FDA approved bone cancer drugs in terms of their computationally predicted physico-chemical properties, different drug-likeness criteria, and their biological activity across the important drug targets GPCR, in channel modulator, kinase inhibitors, nuclear receptor ligands, protease, and enzyme inhibitors. The drug molecule Methotrexate showing a higher number of bioactivity was considered as that drug structure could be used as a lead molecule for further investigation and it was taken into the process of monovalent bioisosteric replacements. From the series of bioisosteric analogues of the marketed drug Methotrexate, the compounds M4, M13, M14, and M15 showed a much broader spectrum of bioactivity. Especially M4 showed a good activity on the five drug targets over the six tested. Its drug-likeness properties were also checked and were found similar to the marketed drug Methotrexate. Therefore, our *in silico* design compounds M4, M13, M14, and M15 give a promising insight with a multi-targeted manner for further pharmacological research.

References

1. Lipinski, C.A., (2001). *Avoiding investment in doomed drugs*. *Curr Drug Discov*, **1**: p. 17-19.
2. Ghose, A.K., V.N. Viswanadhan, and J.J. Wendoloski, (1999). *A knowledge-based approach in designing* e-ISSN: 2148-2683

combinatorial or medicinal chemistry libraries for drug discovery. 1. A qualitative and quantitative characterization of known drug databases. *Journal of combinatorial chemistry*, **1**(1): p. 55-68.

3. Muegge, I., S.L. Heald, and D. Brittelli, (2001). *Simple selection criteria for drug-like chemical matter*. *Journal of Medicinal Chemistry*, **44**(12): p. 1841-1846.
4. Schmidt, T., A. Bergner, and T. Schwede, (2014). *Modelling three-dimensional protein structures for applications in drug design*. *Drug discovery today*, **19**(7): p. 890-897.
5. Geldenhuys, W.J., et al., (2006). *Optimizing the use of open-source software applications in drug discovery*. *Drug Discovery Today*, **11**(3-4): p. 127-132.
6. Veber, D.F., et al., (2006). *Molecular properties that influence the oral bioavailability of drug candidates*. *Journal of medicinal chemistry*, **45**(12): p. 2615-2623.
7. Burger, A., (1991). *Isosterism and bioisosterism in drug design*, in *Progress in Drug Research/Fortschritte der Arzneimittelforschung/Progrès des recherches pharmaceutiques*. Springer. p. 287-371.
8. Egan, W.J., K.M. Merz, and J.J. Baldwin, (2000). *Prediction of drug absorption using multivariate statistics*. *Journal of Medicinal Chemistry*, **43**(21): p. 3867-3877.
9. Zheng, H., M. Fridkin, and M. Youdim, (2014). *From single target to multitarget/network therapeutics in Alzheimer's therapy*. *Pharmaceuticals (Basel)*, **7**(2): p. 113-35.
10. Petrelli, A. and S. Giordano, (2008). *From single- to multi-target drugs in cancer therapy: when aspecificity becomes an advantage*. *Curr Med Chem*, **15**(5): p. 422-32.
11. Li, Y., et al., (2014). *Multi-targeted therapy of cancer by niclosamide: A new application for an old drug*. *Cancer letters*, **349**(1): p. 8-14.
12. Berquin, I.M., I.J. Edwards, and Y.Q. Chen, (2008). *Multi-targeted therapy of cancer by omega-3 fatty acids*. *Cancer letters*, **269**(2): p. 363-377.
13. Wishart, D.S., et al., (2018). *DrugBank 5.0: a major update to the DrugBank database for 2018*. *Nucleic Acids Res*, **46**(D1): p. D1074-D1082.
14. Dogan, E. E. (2021). *Computational Bioactivity Analysis and Bioisosteric Investigation of the Approved Breast Cancer*

- Drugs Proposed New Design Drug Compounds: Increased Bioactivity Coming with Silicon and Boron. *Letters in Drug Design & Discovery*, 18, 1-11.
15. Dogan, E. E. (2021). Computational binding analysis and toxicity evaluation of estrogen receptor with estradiol and the approved SERMs raloxifene, tamoxifen, and toremifene. *Medicine*, 10, 157-61.
 16. Eryilmaz, E., (2019). *Multi-targeted anti-leukemic drug design with the incorporation of silicon into Nelarabine: How silicon increases bioactivity*. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. **134**: p. 266-273.
 17. Eder, J., R. Sedrani, and C. Wiesmann, (2014). *The discovery of first-in-class drugs: origins and evolution*. *Nature Reviews Drug Discovery*. **13**(8): p. 577.



A Printed Antenna Design with Defected Ground Structure for Multiband Applications

Maie A. Gaber^{1,*}, Faten Fouad², Ashraf Yahia³, Mostafa El-Aasser⁴, Nasr Gad⁵

^{1*} Ain Shams University, Faculty of Science, Department of Physics, Cairo, Egypt (ORCID: 0000-0003-3432-1913), maiegaber@sci.asu.edu.eg

² Ain Shams University, Faculty of Science, Department of Physics, Cairo, Egypt, (ORCID: 0000-0002-9718-9481), fatenfouad_p@sci.asu.edu.eg

³ Ain Shams University, Faculty of Science, Department of Physics, Cairo, Egypt, (ORCID: 0000-0003-1998-4647), ayahia@sci.asu.edu.eg

⁴ Ain Shams University, Faculty of Science, Department of Physics, Cairo, Egypt, (ORCID: 0000-0003-3010-1905), Elaasser@gmail.com

⁵ Ain Shams University, Faculty of Science, Department of Physics, Cairo, Egypt, (ORCID: 0000-0002-4175-877X), ngad@sci.asu.edu.eg

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1020955)

ATIF/REFERENCE: Gaber, M. A., Fouad, F., Yahia, A., El-Aasser, M. & Gad, N. (2021). A Printed Antenna Design with Defected Ground Structure for Multiband Applications. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1528-1533.

Abstract

In this paper, the design and analysis of a printed antenna based on a defected ground structure for multiband applications is introduced. The proposed antenna consists of two rectangular slots like an inverted stair. Different five strip lengths are in the area of an inverted stair slot. Four strips are equal in width and horizontally located inside the main two rectangular slots. The fifth strip is the smallest one in the middle of the structure in the ground plane. The microstrip line exists only on the front side plane and parallel to the fifth strip. The antenna is printed on a hydrocarbon ceramic substrate with a dielectric constant of 3.55 and a size (40 × 45 × 1.524) mm³. The proposed antenna is designed by using an electromagnetic simulator based on the finite element method. To verify the suggested approach, the multiband antenna is fabricated and tested. The simulation and measurement results indicate that the antenna has good input-impedance bandwidths ($S_{11} \leq -10$ dB) that extend in the range of 2 to 14 GHz. The six operating frequencies are (2.58, 6.03, 6.25, 7.89, 11.64, and 12.24) GHz. This antenna has good gains and high efficiencies at all resonance frequencies.

Keywords: Printed antenna; Multiband applications; Defected ground structure; Slot antenna

Çoklu Bant Uygulamaları için Bozuk Zemin Yapısına Sahip Basılı Bir Anten Tasarımı

Öz

Bu çalışmada, çok bantlı uygulamalar için kusurlu bir zemin yapısına dayalı basılı bir antenin tasarımı ve analizi tanıtılmaktadır. Önerilen anten, ters çevrilmiş bir merdiven gibi iki dikdörtgen yuvadan oluşur. Ters çevrilmiş bir merdiven yuvası alanında farklı beş şerit uzunluğu vardır. Dört şerit eşit genişlikte ve ana iki dikdörtgen yuvanın içine yatay olarak yerleştirilmiştir. Beşinci şerit, yer düzleminde yapının ortasındaki en küçük şerittir. Mikroşerit çizgisi yalnızca ön yan düzlemde ve beşinci şeride paralel olarak bulunur. Anten, dielektrik sabiti 3.55 ve boyutu (40 × 45 × 1.524) mm³ olan bir hidrokarbon seramik substrat üzerine basılmıştır. Önerilen anten, sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir elektromanyetik simülasyon kullanılarak tasarlanmıştır. Önerilen yaklaşımı doğrulamak için çok bantlı anten üretilmiş ve test edilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçları, antenin 2 ila 14 GHz aralığında genişleyen iyi giriş empedans bant genişliğine ($S_{11} \leq -10$ dB) sahip olduğunu göstermektedir. Altı çalışma frekansı (2.58, 6.03, 6.25, 7.89, 11.64 ve 12.24) GHz'dir. Bu anten, tüm rezonans frekanslarında iyi kazanımlara ve yüksek verimliliğe sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Basılı anten; Çoklu bant uygulamaları; Arızalı zemin yapısı; Yuva anteni.

1. Introduction

Nowadays, wireless communication systems have progressed very rapidly and hence increased the need to provide antennas with a large bandwidth for multiband applications. Besides, devices are getting to be so small with monolithic microwave integrated circuit (MMIC) and compact antennas. Therefore, multiband antennas attracted a great interest in wireless services such as WI-FI, weather radar systems, long-term evolution (LTE), 4G, 5G, satellite TV, and so on. Each wireless system requires a large impedance bandwidth and a stable radiation pattern over its operating frequency range. The multiband antenna designs, which published in wireless communications are heading towards covering more than one resonance frequency band like the dual band [1], the triple band [2],[3], and quad band applications [4],[5]. On the other hand, printed antennas are popular candidates for providing multiband characteristics due to the lightweight features, low cost, and easy fabrication [6].

The popular printed antennas are as microstrip antennas, slot antennas, monopole antennas, and fractal antennas [7]. To design printed multiband antennas, different techniques are used such as defected ground structure (DGS), defected microstrip structure (DMS), band-notch, and meander line. A band notch was used to get a multiband antenna operating at four resonance frequencies in the region (2-8) GHz in [8]. A meander line was used as a DGS in [9] to operate at four resonance frequencies in the region (1-7.5) GHz. DMS was applied in [10] to generate three bands for WiMAX, WLAN, and X-band applications. In [11], triple notch bands were applied to resonate in the region (2-12) GHz for WBAN applications. Printed slot antenna with slot defects on the ground plane operating at five bands has been successfully designed in [12]. DGS and DMS techniques are reported in [13] as defected structures to design a microstrip multiband antenna in mirror stairs shaped that resonates at six frequencies.

In this paper, the proposed multiband printed antenna design is based on the DGS technique by etching two rectangular slots with different dimensions attached with each other in the ground plane. Four horizontal rectangular strips are added inside the main slots, each two strips with different lengths, and narrow vertical strip with 0.5 mm width located under and parallel to the microstrip line. While on the top of the substrate, there is a microstrip line in the center only. The proposed antenna is designed and simulated using an electromagnetic simulator based

on FEM. Six resonance simulated frequencies of (2.58, 6.03, 6.25, 7.89, 11.62 and 12.24) GHz are obtained. The first band (2.44-2.79) GHz covers digital multimedia broadcasting (DMB) and weather radar applications. The 5G sub-7GHz and Wi-Fi applications are covered by the second and third resonance frequencies which are found in the band (5.88-6.39) GHz. The band (7.5-8.25) GHz is suitable for ITU-8 GHz band communication services. The last two bands integrated in one band in frequency range (11.27-12.69) GHz is suitable for satellite TV application.

2. Analysis of The Proposed Antenna

The geometry of the proposed printed multiband antenna is shown in Fig .1. The proposed antenna has a RO4003c substrate with a size $(45 \times 40 \times 1.52)$ mm³, a dielectric constant ($\epsilon_r= 3.55$), and a return loss ($\tan \delta = 0.0027$). On the substrate top, there is only a microstrip line of feeding length (L_f) and width (W_f). On the other side, the bottom of the substrate, there is a ground plane that consists of two defected rectangular slots connected with each other, and five strips designed in the rectangular slots. The larger slot is shifted to right by 1mm from the center comparable to the left slot that is around the vertical narrow strip with 0.5 mm width. The second smaller rectangular slot is shifted to the left by 1.25 mm from the center with respect to the left slot around the vertical narrow strip with 0.5 mm width. The horizontal strips in the ground are not equal in length and all of them with 1 mm away from the slots' boundary. In Table 1, all parameters of the proposed printed antenna are shown.

Table 1. The designed parameters of the proposed antenna

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
L	40	S ₂	2.25
W	45	LS ₂	23.25
L _f	35	M ₁	1
W _f	3.4	M ₂	1
L _m	1	M ₃	0.5
W ₁	4	W ₂	5.25
S ₁	3	W ₃	5
LS ₁	33.5		

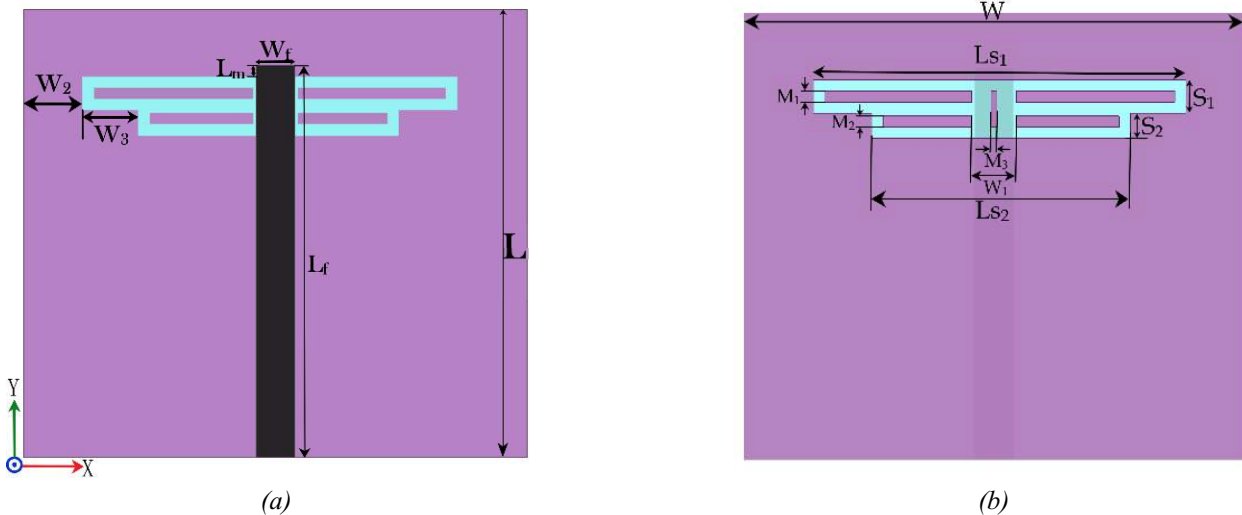
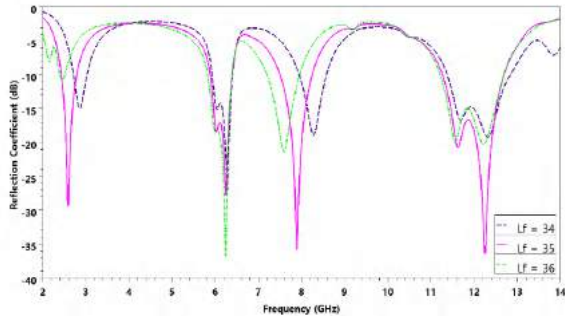
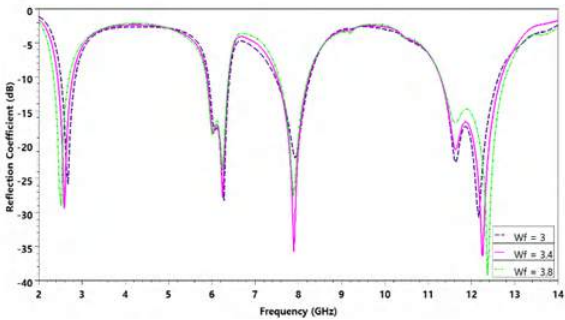


Fig. 1: The proposed antenna (a) front view (b) back view.

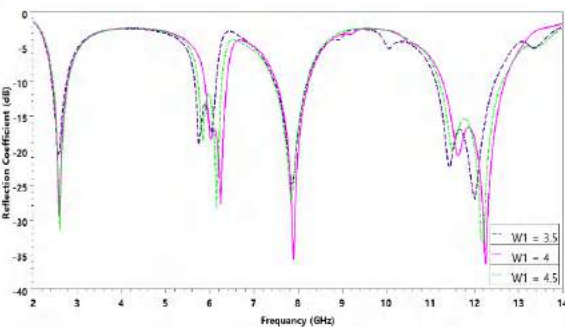
The performance of antenna was optimized using HFSS simulator based on FEM [14]. Fig. 2 shows the reflection coefficient of the proposed antenna. The effect of the length (L_f) and width (W_f) of feeding line on the antenna's performance is depicted in Fig. 2(a) and (b) respectively, causing a shift in certain resonance frequency and enhancing the other. From Fig. 2(c), it can be seen that increasing the distance between horizontal strips (W_1), decreased the resonant frequency. The simulated reflection coefficient response with different values of small slot width (S_2) is shown in Fig. 2(d). Fig. 2(e) shows that the width of vertical strip (S_2) under the transmission line is almost acting only on the first resonance frequency. The sequence of the proposed design by removing the strips is shown in Fig. 2(f): At first, design A, when removing the two small horizontal strips from the proposed design that has a significant effect at higher frequencies. Then, in design B, the smallest strip which under and parallel to the transmission line is removed. Finally, the biggest horizontal strips are taken off in design C. when removing the two small horizontal strips from the proposed design that has a significant effect at higher frequencies. Then, in design B, the smallest strip which under and parallel to the transmission line is removed. Finally, the biggest horizontal strips are taken off in design C



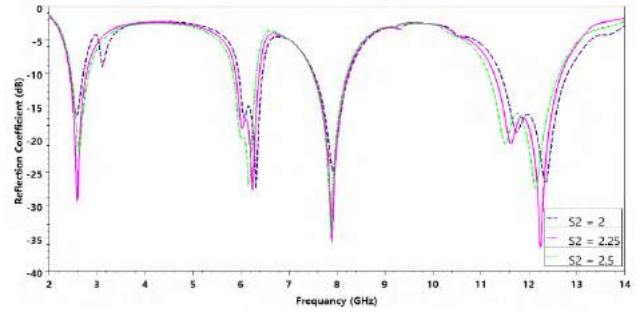
(a)



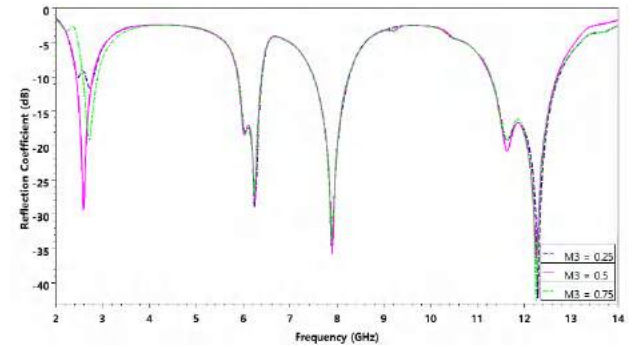
(b)



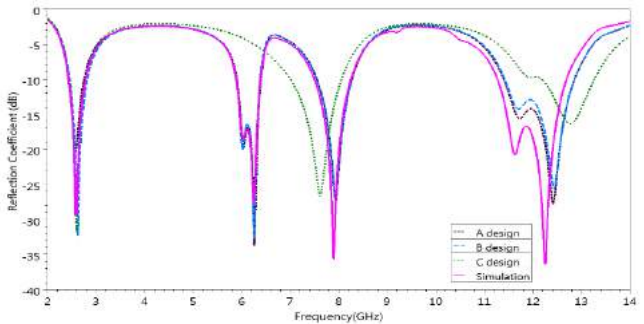
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 2: The simulated reflection coefficient for the proposed antenna with different configurations: (a) length of feeder (L_f), (b) width of feeder (W_f), (c) the distance between horizontal strips (W_1), (d) width of small slot (S_2), (e) width of vertical strip (M_3), (f) sequence of designed proposed antenna.

From the reflection coefficient results, the best performance of the proposed antenna design parameters are as follows: length of feeder (L_f), width of feeder (W_f), distance between the horizontal strips (W_1), width of small slot (S_2), and width of vertical strip (M_3) are (35, 3.4, 4, 2.25, and 0.5) mm, respectively.

3. Results and Discussion

The proposed multiband printed antenna performance was discussed in the previous section. The proposed antenna was fabricated, and the reflection coefficient was measured by using Rohde & Schwarz ZVB 20 Vector Network Analyzer. The front and back side of the fabricated antenna are presented in Fig. 3. To achieve multiband operation for the slot printed antenna, the slot length of each radiating element must be around $\lambda_g/2$ [15].

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_e}} \quad (1)$$

where ϵ_e is the effective dielectric constant

$$\epsilon_e \approx \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} \quad (2)$$

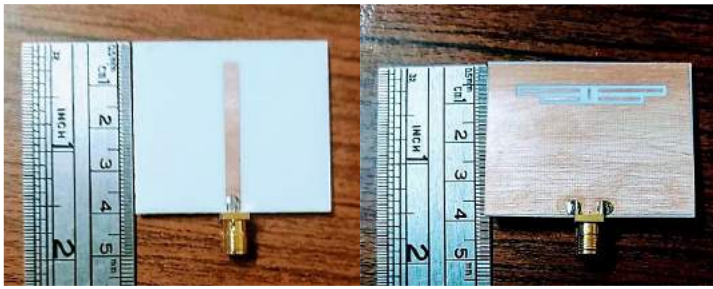


Fig. 3: The fabricated antenna (a) front view (b) back view.

The simulated and measured results of the reflection coefficient (S_{11}) are shown in Figure 4. A good agreement between the simulation and measurement results is obtained in region from 2 to 14 GHz. The measured impedance bandwidths achieved are 2.537–2.918 GHz with a bandwidth of 0.381 GHz (13.97%), two integrated bandwidths around 6.149 GHz with ($S_{11} = -13.377$ dB) in the range of (5.899–6.149) GHz with a bandwidth of 0.25 GHz (4.15%), (6.149–6.412) GHz with bandwidth of 0.263 GHz (4.187%). The last two bands are considered as a wideband of (5.899–6.412) GHz with a bandwidth of 0.513 GHz (8.334%) for $|S_{11}| \leq -10$ dB, (7.815–8.353) GHz with a bandwidth of 0.538 GHz (6.655%), two integrated bandwidths around 12.365 GHz with ($S_{11} = -12.3$ dB) in the range of (11.12–12.365) GHz with a bandwidth of 1.245 GHz (10.6%), (12.365–13.059) GHz with a bandwidth of 0.694 GHz (5.453%), the two bands are considered as a wideband of (11.12–13.059) GHz with a bandwidth of 1.939 GHz (16.039%) for $|S_{11}| \leq -10$ dB. A comparison of the S_{11} data for all the operating frequencies is summarized in Table 2.

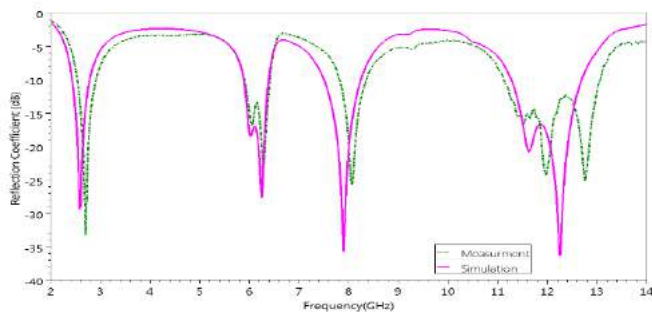
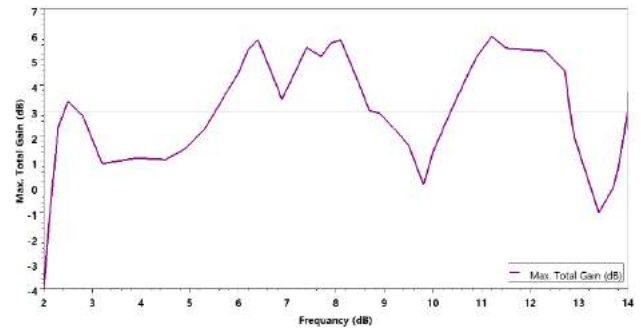


Fig. 4: The simulated and measured reflection coefficient of the proposed antenna.

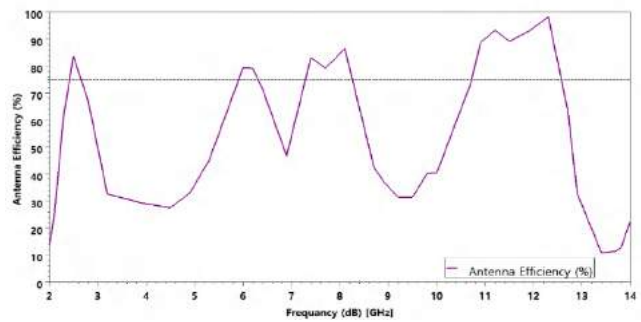
Table 2: Simulated and measured return losses of the proposed printed antenna

Resonance Frequency (GHz)	Simulation	2.584	6.03	6.25	7.892	11.616	12.238
	Measurement	2.703	6.053	6.288	8.063	11.964	12.756
S_{11}(dB) at Resonance Frequency	Simulation	-29.387	-18.48	-27.72	-35.775	-20.739	-36.31
	Measurement	-33.255	-16.797	-23.013	-25.681	-24.327	-25.08
Frequency Region (GHz)	Simulation	2.44-2.79	5.88-6.109	6.109-6.39	7.50-8.25	11.27-11.857	11.857-12.69
	Measurement	2.537-2.918	5.899-6.149	6.149-6.412	7.815-8.353	11.12-12.365	12.365-13.059

The simulated peak gains and efficiency of the proposed printed antenna, fed by a microstrip line, are plotted in Fig. 5(a) and 5(b), respectively.



(a)



(b)

Fig. 5: (a) The simulated gain of the proposed antenna, (b) The simulated efficiency of the proposed antenna

The simulated results of the gain show the values (3.22, 4.62, 5.5, 5.63, 5.43 and 5.34) dB at (2.58, 6.03, 6.25, 7.89, 11.62, and 12.24) GHz, respectively. The simulated antenna efficiency at the operating frequencies is given by (79.29, 79.28, 77.24, 82.48, 90.35, and 97.70) % at (2.58, 6.03, 6.25, 7.89, 11.62, and 12.24) GHz, respectively.

The simulated radiation patterns of the proposed antenna for the E-plane (Y-Z plane) and the H-plane (X-Z plane) are shown in Fig. 6.

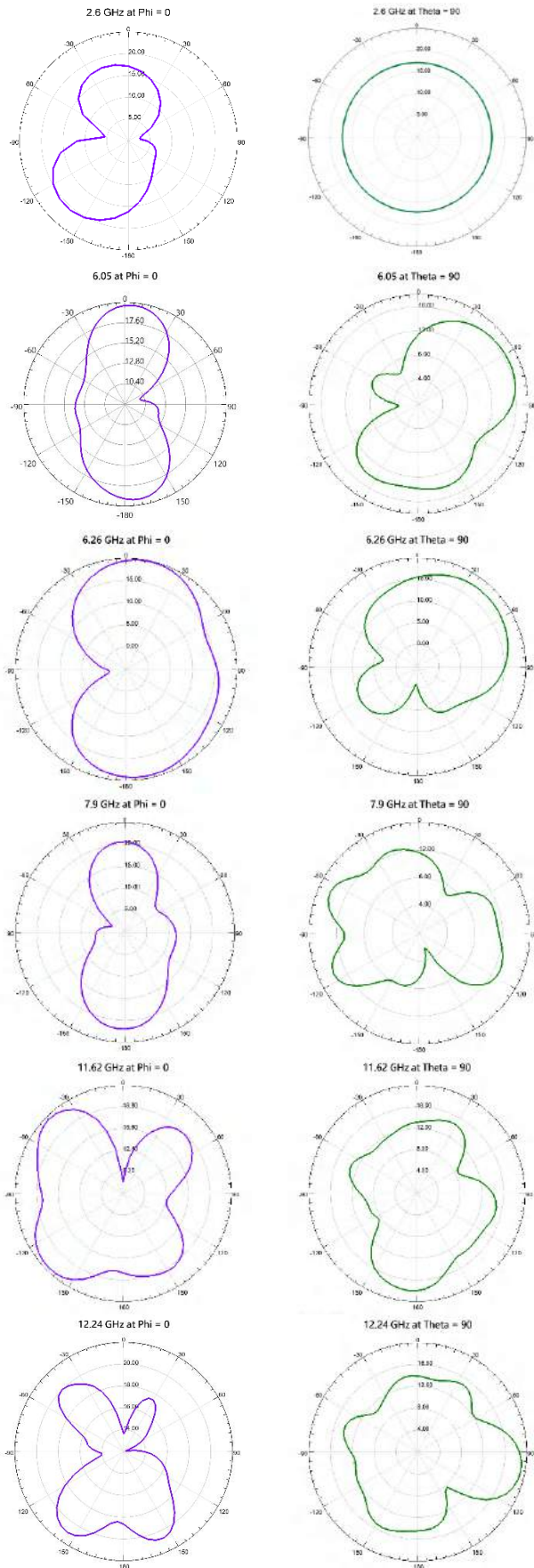


Fig. 6: The simulated radiation patterns of the proposed multiband printed antenna. (a)E-plane at 2.58, 6.03, 6.25, 7.89, 11.62 and 12.24 GHz. (b) H-plane at (2.54, 6.03, 6.25, 7.89, 11.62 and 12.24) GHz.

4. Conclusions

A new multiband printed antenna is designed, simulated, fabricated, and measured. It has two rectangular slots as defected on the ground plane and five strips located inside the two slots. The proposed antenna operates at four bands, (2.44-2.79, 5.88-6.39, 7.5-8.25, 11.27-12.69) GHz. The designed antenna has been successfully simulated by using finite element method simulator. The antenna is fabricated on RO4003C substrate with dimension (45× 40) mm² to verify the simulation results. The measured results showed a good agreement with the simulation results for the reflection coefficient. The simulated gain varies from 3.22 to 5.63 dB at the operating frequencies. The presented antenna has simulated efficiencies of (79.29, 79.28, 77.24, 82.48, 90.35, and 97.70) %, respectively. This makes the antenna design suitable for DMB, weather radar, 5G Sub-7GHz, Wi-Fi, ITU-8 GHz band communication, and satellite TV applications.

References

- [1] Zhong, Zeng-Pei, et al. "Compact dual-band printed quadrifilar helix antenna for practical hand-held devices." *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering* 30.11 (2020): e22384.
- [2] Khan, Tayyaba, and MuhibUr Rahman. "Wearable tri-band antenna for switching between WLAN and bluetooth for body centric wireless communication." *Wireless Personal Communications* 117.2 (2021): 1459-1470.
- [3] Sun, Xu-Bao. "Design of a triple-band antenna based on its current distribution." *Progress In Electromagnetics Research* 90 (2020): 113-119.
- [4] Yossry, Alaa, et al. "Hybrid-Shape Dielectric Resonator Antennas for Multiband Applications." *2021 International Conference on Electronic Engineering (ICEEM)*. IEEE, 2021.
- [5] Modak, Sumon, Taimoor Khan, and Rabul Hussain Laskar. "Loaded UWB Monopole Antenna for Quad Band-Notched Characteristics." *IETE Technical Review* (2021): 1-9.
- [6] Balanis, Constantine A. *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons, 2016.
- [7] Pandey, Anil. *Practical microstrip and printed antenna design*. Artech House, 2019.
- [8] Wang, Junjun, and Xudong He. "Analysis and design of a novel compact multiband printed monopole antenna." *International Journal of Antennas and Propagation* 2013 (2013).
- [9] Patel, Riki, et al. "Low profile multiband meander antenna for LTE/WiMAX/WLAN and INSAT-C application." *AEU-International Journal of Electronics and Communications* 102 (2019): 90-98.
- [10] Khaddaj Mallat, Nazih, and Amjad Iqbal. "Multi-band printed antenna for portable wireless communication applications." *Progress In Electromagnetics Research* 84 (2019): 39-46.
- [11] Doddipalli, Srinivas, and Ashwin Kothari. "Compact UWB antenna with integrated triple notch bands for WBAN applications." *IEEE Access* 7 (2018): 183-190.
- [12] Gad, Nasr H., and Matjaz Vidmar. "Design of a Microstrip-Fed Printed-Slot Antenna Using Defected Ground Structures for Multiband Applications." *Applied Computational Electromagnetics Society Journal* 33.8 (2018).
- [13] Fouad, Faten, et al. "Design of a Mirror Stairs Multiband Microstrip Antenna Using Defected Structures." *2021 38th*

National Radio Science Conference (NRSC). Vol. 1. IEEE, 2021.

- [14] ANSYS® Electromagnetics Student, ver. 2.2.1. online: [Ansys | Engineering Simulation Software](#)
- [15] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House, Norwood, MA, 2001



Tasarım Süreçlerinde Otomasyon Sistemlerinin Optimizasyonu ve Etkilerinin İncelenmesi

Burak Gül^{1*}, Ersin Toptaş²

^{1*} Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0043-4045-0316), burak_mkt@hotmail.com

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6667-0638), etoptas@marmara.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1026372)

ATIF/REFERENCE: Gül, B. & Toptaş, E. (2021). Tasarım Süreçlerinde Otomasyon Sistemlerinin Optimizasyonu ve Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1534-1539.

Öz

Bu çalışmada otomasyon hatlarının tasarım ve çalışmasına etki eden dinamik parametreler örnek bir hat üzerinde tespit ve optimize edilerek hatların verimliliğine olumlu etkileri araştırılmıştır. Otomasyon hatlarının mekanik, elektronik ve yazılımın bir arada olduğu sistemlerde kalite ve yüksek performans üretim endüstrisi tarafından istenen bir özelliktir. Bu sistemleri maksimum verimliliğe ulaştırmak için daha tasarım sürecindeyken mekanik, elektronik ve yazılımsal parametrelerin bir arada düşünülerek optimize edilmesi sistemin zaman ve maliyet açısından kazandıkları sistemin verimliliğinin artması açısından önemlidir. Bu verimliliğin artmasına yönelik örnek bir otomasyon hattı tasarımı ve optimizasyonuna yönelik bir çalışma sunulmuştur. Çalışmada farklı boylardaki şişelere kapak takan otomasyon hattı üzerinden fiziksel ve parametrik değişikliklerin üretim süreci üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırmada yerçekimi, sürtünme gibi fiziksel büyüklüklere bağlı şişe akış hızı, kapak takma silindiri hızı sanal ortamda optimize edilmiş; ayrıca sistem sanal ortamda devreye alınarak ortaya çıkan tasarım hataları tespit edilerek düzeltilmiştir. Böylelikle bir ürünün üretim sürecinde kullanılacak otomasyon hattının tasarımında mühendislik hesaplamaları, hareket analizleri, eyleyicilerin etkileri, algılama ve kontrol parametrelerinin aynı anda düşünülerek hat tasarımının tamamlanması gerektiği tezi deneysel olarak da desteklenmiştir. Örnek sistemde çevrim süresinin ve tasarım süresinin kısalmasından doğan %30'luk bir iyileştirme sağlanmıştır. Bu sunulan yaklaşımın otomotiv, gıda, kimya vb. sanayilerde insan hatasından arındırılmış ve ürün hareketlerinin önceden kestirilemediği otomasyon hatlarına sahip tüm üretim tesisleri için yeni hatların tasarımına yeni bir bakış açısı kazandırılmış olacaktır. Hatasız üretime geçirilebilen otomasyon hatlarıyla ekonomik verimliliğinin de en üst seviyelere ulaştırılmasına ışık tutulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Sanal devreye alma, Mekatronik konsept tasarımı, Makine dijital ikizi, Otomasyon hattı simülasyonu.

Optimization of Automation Systems and Investigation of Effects in Design Processes

Abstract

In this study, dynamic parameters affecting the design and operation of automation lines were determined and optimized on a sample line and their positive effects on the efficiency of the lines were investigated. In this study, dynamic parameters affecting the design and operation of automation lines were determined and optimized on a sample line and their positive effects on the efficiency of the lines were investigated. Quality and high performance in systems where automation lines combine mechanics, electronics and software is a feature desired by the manufacturing industry. In order to bring these systems to maximum efficiency, optimizing the mechanical, electronic and software parameters together during the design process is important in terms of increasing the efficiency of the system, which the system gains in terms of time and cost. A study on the design and optimization of an exemplary automation line to increase this efficiency is presented. In the study, the effects of physical and parametric changes on the production process were investigated through the automation line that caps bottles of different sizes. In the research, bottle flow rate and capping cylinder speed depending on physical quantities such as gravity and friction were optimized in a virtual environment; In addition, the system was commissioned in the virtual environment and the design errors that occurred were identified and corrected. Thus, the thesis that the line design should be completed by considering engineering calculations, motion analysis, the effects of actuators, sensing and control parameters at the same time in the design of the automation line to be used in the production process of a product was also supported experimentally. In the sample system, a 30% improvement was achieved due to the shortening of the cycle time and design time. This presented approach can be applied to automotive, food, chemistry, etc. A new perspective will be gained in the design of new lines for all production facilities with automation lines, which are free from human error in industries and where product

* Sorumlu Yazar: burak_mkt@hotmail.com

movements cannot be predicted. With the automation lines that can be put into production without errors, it will be shed light on reaching the highest level of economic efficiency.

Keywords: Optimization, Virtual commissioning, mechatronics concept design, machine dijital twin, automation line simulation.

1. Giriş

Otomasyon hatları yapısı itibariyle sensörler, uyarıcılar, butonlar, motor, sürücü, pnömatik eyleyiciler gibi birçok giriş ve çıkış elemanlarından oluşmaktadır. Bu elemanların otomasyon hatları üzerindeki konum, tepki süresi, hız, hareket grafikleri gibi parametreleri değiştirilebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Bu tür yapıların ve parametrelerin mekatronik sistemlerdeki etkisi üretim sürecindeki verimliliği etkilemektedir. Aynı zamanda bu giriş çıkışları kontrol eden ve mekatronik sistemlerin kontrolünde temel taşlardan biri olan programlanabilir mantıksal denetleyici olan PLC'lerin programlanmasına yardımcı olacak algoritmaların ortaya çıkarılmasının verimliliği olumlu etkileri vardır (Çilek, 2005).

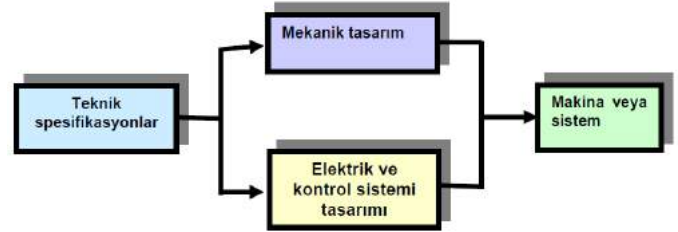
Endüstri 4.0'ın yaygın olarak konuşulduğu ve sanayiye etkilemeye başladığı bu yeni dönemde birçok yeni teknoloji ortaya çıkmıştır (Stock, T., & Seliger, G., 2016). Nesnelerin interneti, akıllı fabrikalar, 3D yazıcılar, artırılmış gerçeklik, giyilebilir teknolojiler vb. bu teknolojilerden bazılarıdır (Henning, 2013). Sanal devreye alma da bu parlayan teknolojilerden biridir. Sanal devreye alma teknolojisi sayesinde tasarlanacak hattın daha az hatayla üretileceği ve tasarım sürecinin hızlanarak zamandan tasarruf edileceği düşünülmektedir. Gerçek prototiplerin kurulmasına gerek kalmadan sistemin test edilmesi sağlanarak oluşacak maliyetler ve gerekli işgücünün en aza indirileceği görüşü ortaya konmuştur (Puntel-Schmidt, P., & Fay, A., 2015).

1.1. Otomasyon Hatlarının Geleneksel Yöntemlerle İnşasında Yaşanılan Aksaklıklar

Mekatronik sistemlerin birkaç disiplini barındırması ve karmaşık bir yapı oluşturması sebebiyle otomasyon hatlarının düşünceden devreye alınmasına kadar olan süreçte değişik problemlerin oluşması kuvvetle muhtemeldir. Bu tür sorunların ortaya çıkması durumunda değişik yöntemlerle sorunun çözüme yönelik çalışılmaktadır. Fakat yapılan bu sorun çözümleri zaman kaybı ve imalat masraflarına sebep olmakta, tasarımda değişikliğe gidilmesini dahi gerektirebilmektedir.

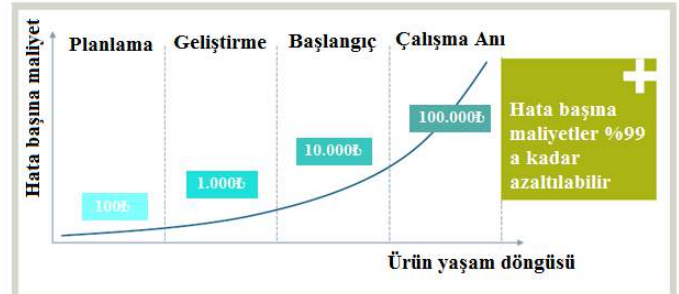
Otomasyon hatlarının geleneksel olarak tasarlanıp devreye alınmasında, Şekil 1.1'de belirtildiği gibi hattı kuracak işletme tarafından teknik özellikler belirlenir. Sonrasında mekanik ve elektriksel tasarım ayrı ayrı çalışılıp sistem ortaya çıkarılmaktadır. Otomasyon sisteminin çalışması gerçek makine veya üretim hattında test edilmektedir. Bu sistemlerin gün geçtikçe daha karmaşık hale gelmesiyle sistemlerin tasarlanması, prototipinin oluşturulup test edilmesi gibi aşamalar oldukça uzun vakit alabilmektedir. Ayrıca uygulamada önemli sorunlara yol açabilmek. Bu sorunlar, artık birçok firma tarafından bilinmekte ve çözüm için gerekli değişiklikler uygulamaya konulmaktadır. En önemli sorun, mekanik ve elektrik/kontrol tasarımı bölümünün öncelikle fiziki anlamda ayrı olmasıdır. Bu durum ekiplerin bilgi ve deneyim birikimlerini ortak kullanarak aynı tasarım konusunda beraber çalışarak sinerji yaratma olanağını engellemektedir. Fiziki olarak ayrı mekânlarda görev yapan ekipler arasında olması gereken iletişim ve ekip çalışma anlayışı zayıf olabilmektedir. Teknik konularda da bütünleşmiş bilgi eksikliği nedeniyle birbirlerini anlamakta zorluk çeken ekipler,

tasarımın hem mekanik hem de kontrol tekniği açısından fonksiyonel, ekonomik ve verimli bir çözüme yönlendirilmesinde etkin bir çalışma yapamamaktadır (Karcı, 2001).



Şekil 1.1: Geleneksel Mekatronik Sistem Tasarım Aşamaları

Otomasyon sistemlerinin tasarlanmasında yapılan küçük bir hata sistemin çalışmasına büyük zararlar verebilmektedir. Bu durum üretici firmalar için zaman kaybına ve maddi zarara yol açmaktadır. Test aşamasında otomasyon sisteminde kullanılan çeşitli sensörler, eyleyici vb. elemanların sistem üzerinde nereye konulursa daha verimli çalışacağını keşfetmek uzun yılları alan tecrübe ve bilgi birikimiyle gerçekleşebilmektedir (Groover, 2001). Tanımlanamayan bir hata için hata ile ilgili maliyetler Şekil 1.2'de gösterildiği gibi tasarım sürecinin her safhasında 10 kat artabilmektedir. Bir hata ne kadar erken tanımlanır ve düzeltilirse kuruluş için o kadar az maliyetli olmaktadır (Braun).



Şekil 1.2: Hataların süreçteki yerine göre düzeltme maliyeti

Makine tasarımı karmaşık bir süreçtir. Mekanik tasarım, elektrik ve kontrol yazılımı arasındaki etkileşim birçok organizasyonda ciddi sıkıntılara yol açmaktadır. Çoğu durumda, elektriksel tasarım ve yazılım geliştirme, mekanik tasarım tamamlanmaya kadar başlayamamaktadır. Elektromekanik ürünler için tasarım yöntemlerinin çoğunun seri olması ve ilgili ekiplerin makine entegrasyonu öncesinde optimum etkileşiminin daha az olması sorun oluşturmaktadır. Bir makinenin gelişiminin ayrı bölümlerini (mekanik, elektrik, şemalar ve PLC yazılımı) gerçekleştirmek için birçok dijital araç vardır. Ancak bu disiplinleri tek bir işlev gören dijital prototipte birleştirmek mümkün olmamıştır. Bu da kavramları test etmeyi ve alternatifleri değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Ayrıca, ilk derleme sürekli bir ayarlama, tekrar test ve hata ayıklama turu haline geldiği için gecikmeler yaygın olarak yaşanmaktadır.

Günümüzde, müşteri gereksinimlerini toplama ve ayrıntılı mühendisliğe başlama aşamaları arasında bir darboğaz vardır. Birçok büyük şirkette tasarlanan hat montajı ve devreye alma arasında doğrudan bir bağlantı yoktur. Bu da sistemi ortaya

koyma ve devreye almaya kadar tüm gereksinimlerin karşılanamaması sorununu ortaya çıkarmaktadır (Blaschke, 2017). Bu darboğaz, hareket kontrol yazılımı ve elektrik tasarımı gibi aşamaların başlamasından önce sağlam geometrik kavramlara ihtiyaç duyulduğu için, müşterilerin çoğu için ciddi bir problem teşkil eder. Müşteriler sadece işin sonucundaki sistemle ilgilenirken makine imalatçıları tasarımda aynı işi yapabilecek onlarca farklı mantık ve ekipman arasından optimumunu seçmek için çabalar.

Sonuçta, düşünsel tasarım ayrıntısız haliyle bir mekanik tasarım haline getirilir. Ancak burada da sadece çarpışma gibi basit durumların testi yapılabilir. İmalat sonrasında da otomasyon hattının tüm denemeleri gerçek sistem üzerinde yapıldığında hattın maksimum hızlarının denenmesinin sisteme zarar verme riski olduğu için bazen denenemez ve gerçekte maksimum hızlardan daha düşük hızlarda çalışma yapılmak zorunda kalınabilir.

1.2. Otomasyon Sistemlerinin Sanal Optimizasyonunun Sağlayacağı Faydalar

Otomasyon hatlarının devreye alınmasında ortaya çıkan sorunlara çözüm olarak sistemin optimizasyonunun yapılabildiği sanal devreye alma; devreye alma sürecinde maliyet ve zaman verimliliğini getiren ve pazara sunma süresini kısaltan bir tekniğin gerekliliğine bir cevap olarak ortaya çıkmıştır (Herbus, K., Ociepa, P., & Gwiazda, A., 2017). Bu sorunların ortadan kaldırılması için eşgüdümlü çalışılmalıdır. Makinenin dijital ikizi daha önceden oluşturulup optimizasyonlar bu dijital ikiz üzerinde yapıldığında gerçek makinenin devreye alınması da sanal devreye alma sayesinde çok daha kısa olacaktır. Aralarında birçok köklü firmanın da olduğu bazı firmalar bu şekilde yazılımları; sistem tasarımından üretimine, üretiminden kullanıma, müşteri istekleri ve ürün değişimine uygun hale getirmeye kadar birçok aşamada kullanılmaktadırlar.

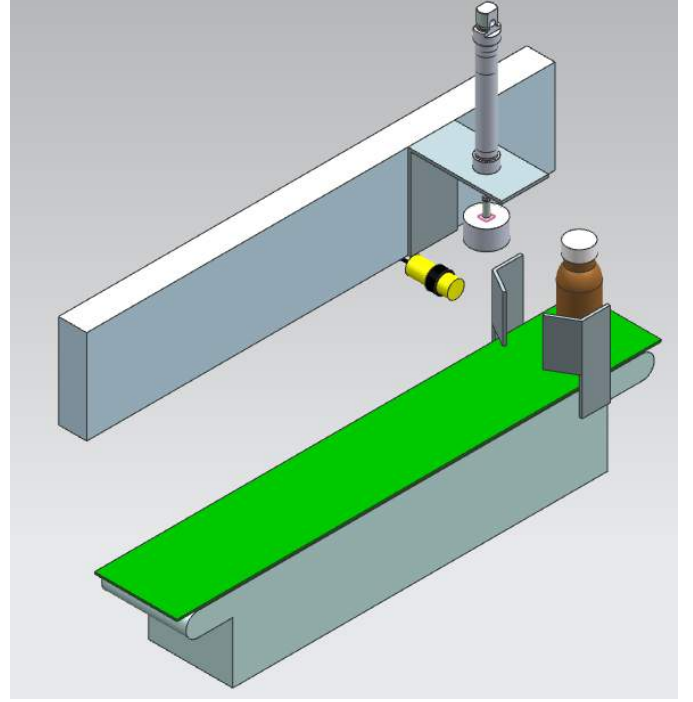
Önde gelen tesis ve proses otomasyonu firması, kozmetik endüstrisine esnek paketleme makineleri geliştirmek için bu şekilde yazılımlar kullanarak verimliliğini artırmıştır. Farklı disiplinlerden mühendislerin aynı anda projeler üzerinde çalışmasını sağlayarak geliştirme süresini yüzde 30'a kadar düşürdüğünü iddia etmiştir. Yazılımlar, dijital bir ikiz makine veya sistem oluşturmasına ve sanal olarak devreye almasına olanak tanır. Makine modeli ayrıca tüm uygulamanın işlevselliğini test etmek için gerçek makine kontrolüne bağlanır. Bu özellikler, mekatronik mühendislerinin gerçek makinenin devreye alınmasını büyük ölçüde hızlandırmasını sağlar (Blaschke, 2017).

Bu araştırmalar sonucunda bu çalışmada karmaşık yapıdaki otomasyon hatlarının oluşturulması sürecindeki hataları azaltmak amaçlanmış ve bu tür sistemlerde üretilecek hattın üretim ve kurulumunu kapsayan tüm süreç optimize edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Şekil 2.1'deki örnek bir şişe dolun tesisinin kapak takma istasyonu tasarlanarak optimizasyon adımları bu sistem üzerinde denenmiştir. Yapılacak optimizasyon adımları ile bu otomasyon hattının tasarımdaki iyileştirmeleri ve her bir optimizasyonun hattın çevrim süresine etkisi incelenmiştir. Hat üzerinde cam gövdeli şişelerin kapağı takılarak diğer istasyonlara doğru 700mm lik bir konveyör üzerinden akması sağlanacak şekilde tasarım yapılmıştır. Kapak takma işlemi

80mm stroklu pnömatik silindir ile bastırılarak yapılmaktadır. Stroğun kapak boyundan büyük seçilmesinin sebebi istasyonun farklı boylardaki şişelere kapak takmaya adapte olabilmemesini sağlamaktır. İncelemeler sonucunda sisteme 500mm lik lineer eksen eklenerek kapak takma işleminin konveyör akarken yapılacak şekilde tasarım güncellenmiştir. Şişeler 40mm çapında silindirik yapıda 67mm boyunda ve 40gr ağırlığındadır. Şişelerin algılama işlemi cisimden yansımali optik sensör ile yapılmıştır.



Şekil 2.1: Kullanılan Örnek Sistem

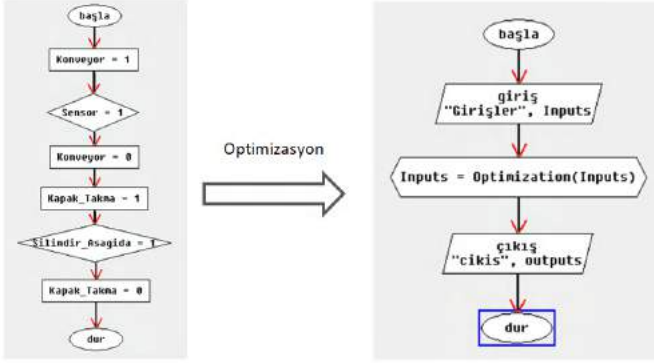
Sistemde şişeler görünen konveyör bandın girişinden beslenerek sensöre kadar gelmekte sensör şişeyi gördüğünde kapak takma silindiri aşağı inip yukarı çıkarak kapağı bastırarak takmakta ve sonra şişe bantta diğer istasyonlara doğru akmaya devam etmektedir. Optimizasyonlar sanal ortamda yapılacağından sistemde işlenen parçaların yerçekimi, sürtünme, ağırlık gibi fiziksel büyüklüklerine göre değişimleri gösteren yenilikçi bir tasarım programı kullanılmıştır.

2.1. Algoritmanın Optimizasyonu

Sistemin akış senaryosu optimize edilerek örnek hattın çevrim süresinin ne kadar azaltılabileceği araştırılmıştır. Sistem senaryosu parametrelerin ortalama değerlerinde denemek sistemin mekanik hataları gözlemlenmiş ve sistemin tasarımsal optimizasyonu yapılmıştır. Bu sayede sistemin farklı zamanlarda ortaya çıkabilecek hatalarının giderilmeden devreye alma sürecine gelindiğinde ne kadar zarar ortaya çıkarabileceği de araştırılmıştır.

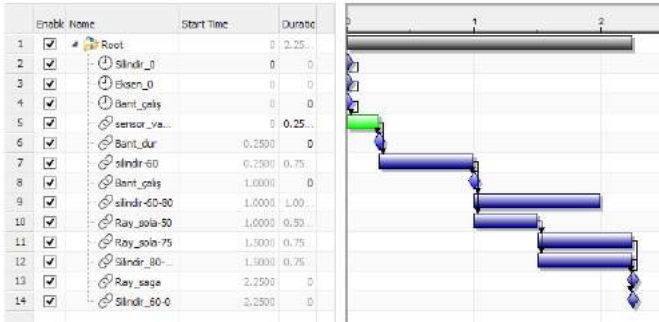
Örnek sistemde devreye alma işlemi Şekil 2.2'deki algoritmaya göre yapılmıştır. Hattın sıralı işlemleri, kullanılan yazılım ile simülasyonu yapılarak hattın akış senaryosuna uygun simüle edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede sistemin konsept tasarımı üzerinde tüm detaylar düşünülüp gerçek otomasyon yazılımına hazır hale getirilmiştir. Sistemin mekanik ve sensör vb. elektronik donanımları montajı sonrası devreye alma için gerçek sistem başında kontrol yazılımı için harcanması gereken süreç kısaltılarak devreye alma süresi azaltılmıştır. Ayrıca bu akış belirlenirken sabit olması planlanan kapak kapama silindirinin bir kayar eksen üzerinde çalışmasının çevrim

sürecinin azaltacağı görüldüğü için mekanik tasarımın optimizasyonuna da etki etmiştir.



Şekil 2.2 Optimizasyon Öncesi ve Sonrası Algoritma

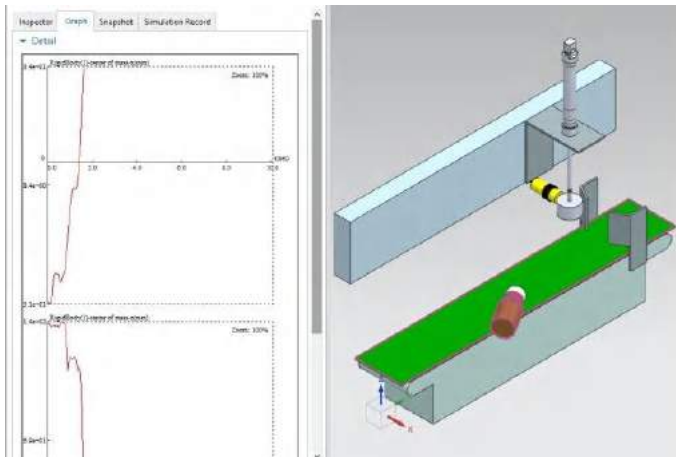
Başlangıç algoritmasına göre sistem ortalama bir hızda çalıştırıldığında konveyör banttaki şişenin kapatma silindiri altına gelmesi için gereken süre 0.5s, DC motor ile tahrik edilen konveyör bantın durma süresi 0.5s, silindir pistonunun aşağı için süresi 1s, Silindir pistonunun yukarı çıkış süresi 1s'dir. Yani sistemin çevrim süresi 3s olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm sonrasında çevrim süresini kısaltmak için kapak kapatma işleminin bant hareket ederken yapılmasının mümkün olup olmayacağı test edilmiştir. Bu testlere göre sistemin algoritması optimize edilmiştir.



Şekil 2.3 Optimizasyonu yapılmış işlem sırasının programdaki gösterimi

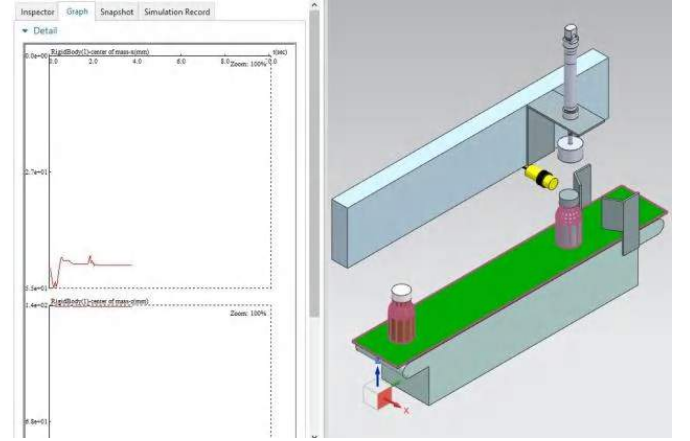
2.2. Konveyör Hızının Optimizasyonu

Örnek sistem üzerinde konveyör motor hızı parametresi değiştirilerek sistemin optimizasyonu yapılmış ve sistemin verimliliği üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 2.4 (a). Motor hızı optimize edilmeden önce şişenin Y ve Z eksenindeki hareketleri

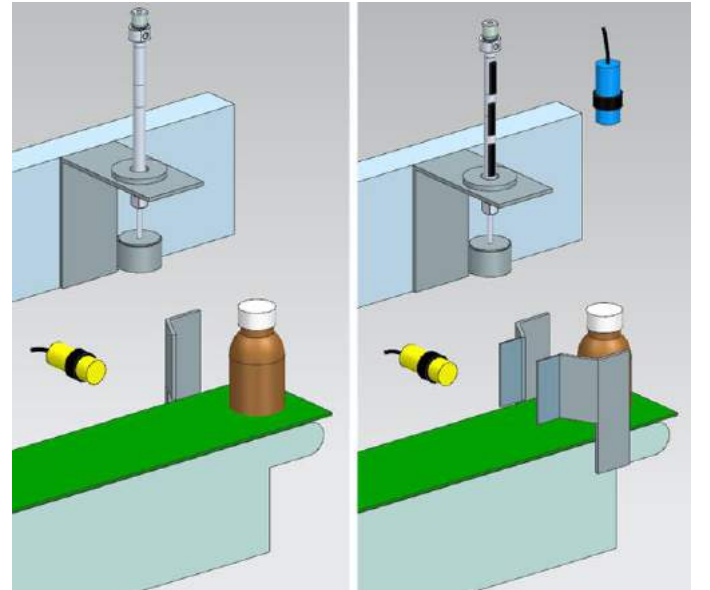
İlk olarak sistemde konveyörün ilerleme hızı şişenin düşmeyeceği garanti hız maksimum 150mm/s olarak düşünülmüştür. Ancak verimliliği arttırmak adına konveyör bant hızı yüksek hızlarda denenmiştir. 210mm/s akış hızında üzerindeki şişenin normalde doğrusal bir değişim göstermesi gereken Y eksenini ve değişim göstermemesi gereken Z eksenini grafiği incelenmiştir. 210mm/s de şişenin bant hareketi esnasında düştüğü gözlemlenmiştir. Y ve Z grafiği kabul edilebilir bir oranda az değişim gösterene kadar bant hızı düşürülerek denemeler devam etmiştir.



Şekil 2.4 (b) Motor hızı optimizasyonuna bağlı şişenin Y ve Z eksenindeki hareketleri

2.3. Silindir Hızının Optimizasyonu

Sistemde en kısa şişenin kapağını kapatmak için silindirin 80 stroğunun tamamı kullanılacak şekilde testler yapılmıştır. Ancak çevrim süresini düşürmek için silindirin şişe boyuna uygun pozisyonda beklemesini sağlayacak sensörler sisteme eklenmiş ve bu sayede silindirin kapağı takmak için aşağı iniş çıkış süresi kısaltılmıştır.

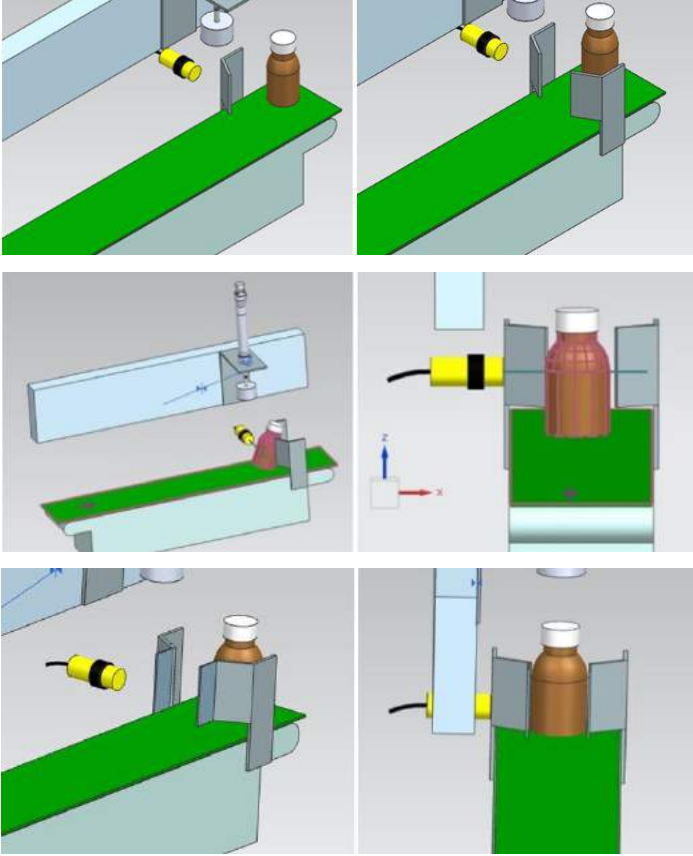


Şekil 2.5: Optimizasyon öncesi (a) ve sonrası (b) silindir

2.4. Mekanik Tasarımın Optimizasyonu

Sistemde hız, senaryo gibi değişikliklerin haricinde mekanik tasarımı üzerinde optimizasyon yapıldı. Örnek sistemde

başlangıçta kapak takan silindirin sabit olması planlanmıştır. Ancak sistem algoritması optimizasyonunda kapağın şişe akışı esnasında takılmasının çevrim süresini kısalttığından sisteme bir lineer eksen eklenmiştir. Şişe boyunun ölçülmesi için eklenen analog sensörü tutacak plakalar eklenmesi gerekmektedir. Diğer bir yandan başlangıçta şişenin bandın ortasından gitmesi için başlangıçta tek kanat yeterli görülmüştür. Ancak sisteme hareket verildiğinde tek kanada çarparak şişenin diğer yönde fazla kaydığı ve düzeltilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Sonucunda karşı tarafına da bir yönlendirme kanadı eklenmiştir. Bu düzeltme sonrasında şişeler kanat arasına sıkışıp devrilmeye başlamıştır. Bu sorun kanatlar arasındaki geçiş boşluğunun artırılmasıyla düzeltilmiştir. Şişelerin ortadan değil yanlardan gelme durumu gözlemlendiğinde ise şişelerin kanatların ucuna sürtünerek döndüğü ve sonrasında merkezinin bozulduğu görülmüştür. Bu durumu düzeltmek için ise kanatların ucuna konveyöre paralel uzatmalar eklenmiştir. Mekanik olarak sistem tasarımı Şekil 2.6 da verilen işlem basamakları ile son halini almıştır. Bunun haricinde sistemin optimum çalışma hızına ve sensör algılama sonrasında bandın durma süresine göre; sensör, silindir, kayar eksen yerleşimleri de optimize edilmiştir.



Şekil 2.6: Mekanik tasarım optimizasyon aşamaları

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Sanal testler sonucunda; kapak takma silindirin kayar bir eksen üzerinde hareket ederken kapağın takılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Sistem akışının optimizasyonu sonucu başlangıçta 3 saniye olan çevrim süresi sadece akışın optimizasyonu sayesinde 2,5 saniyeye düşürülmüştür.

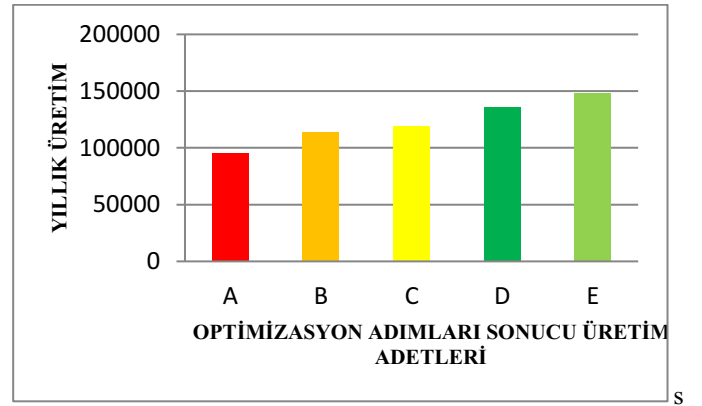
Konveyör bant hızı 150mm/s iken hızlandırılarak 180mm/s hız optimum çalışma hızı olarak ayarlanmıştır. Bu sayede sistemin çevrim süresi 2,5 s den 2,4 saniyeye düşürülmüştür.

Kapak takma silindirin iniş ve çıkış süresi 1s iken sistemin dijital ikizi üzerinden 0,8s olacak şekilde optimize edilmiştir. Bu sayede sistemin çevrim süresi 2,4s den 2,1s'ye düşürülmüştür.

Sistemin daha tasarım sürecinde optimizasyonunu yapmak; sistemi oluşturan parçaların eksikliğinden ve mekanik yerleşiminden doğabilecek problemleri daha imalat yapmadan görüp, çözmeye yardımcı olmuştur. Sistem 1 ayda optimum şekilde tasarlanmıştır. Geleneksel yöntemle göre 1 ay daha erken devreye alınması sağlanmıştır. Bu sayede sonradan ortaya çıkabilecek işçilik ve yanlış mekanik donanımdan doğabilecek ek maliyetler engellenmiştir.

3.1. Maliyetlere etkisi

Yapılan optimizasyonların sistemin çevrim süresini önemli ölçüde düşürebileceği ve buna bağlı olarak üretim kapasitesinin artacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca tasarımda yapılan optimizasyonların yapılmadan geleneksel yöntemlerle sistem devreye alınıp sonradan düzeltmelerin yapılmasının bu sistem üzerinde 1 ay ek süre ihtiyacı doğuracağı varsayılmış ve bu varsayım üzerinden sistemin 1 aylık ne kadarlık ek kazanç elde edilmesine yaradığı da gösterilmiştir. Örnek hat tasarımı üzerinde yapılan iyileştirmelerin sistemin devreye alınma süreci ve çevrim süresine bağlı olarak yıllık üretim miktarına etkisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yapılan optimizasyonların yıllık üretim miktarına etkisi

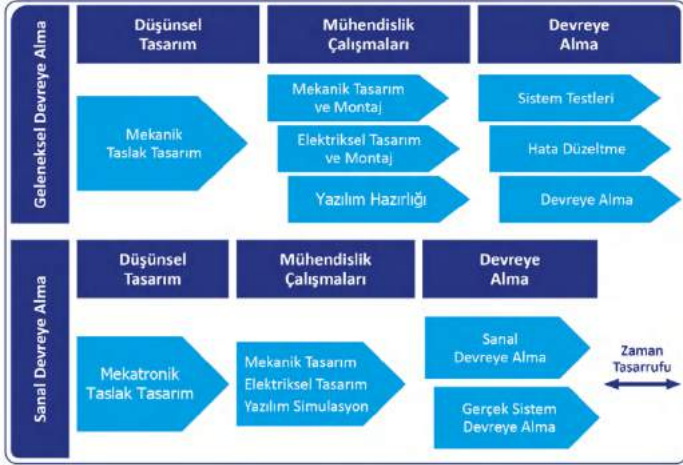
3.2. Tasarım sürecine etkisi

Genel tasarım, mekanik bileşenler ve aynı anda programlama üzerinde çalışarak sistemin ortaya çıkış süresi önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu örnek projede tasarım süreci 2 ayda tamamlanmıştır. Benzer bir sistemin geleneksel yöntemlerle devreye alınıp üzerindeki hataların giderilmesiyle tam olarak ortaya çıkarılması 3 ay gibi bir süre alabilmektedir. Dolayısıyla sistem tasarımı ve montajı için gereken sürenin %30 kadar indirilmesi sağlanmıştır. Makine ve tüm bileşenleri tamamen sanal ortamlarda tasarlandığından, makine ve bileşen davranışını simüle etmek ve tek tek bileşenlerin birlikte çalışabilirliğini test etmek için dijital ikizleri kullanmak mümkün olmuştur. Çarpışmalar, devrilmeler bilgisayar ortamında herhangi bir hasara neden olmadan sadece bilgisayarda meydana geldiğinden rahatlıkla ilk denemeler yapılabilmektedir.

Bu yeni yöntemle sistemin dijital ikizini kullanarak, tasarımcıların, mühendislerin ve programcıların aynı proje üzerinde aynı anda çalışması ve sürekli fikir alışverişini yapması ve deneyimlerin paylaşılması mümkün olabilmektedir. Sistem üzerinde hem mekanik ekipmanlar belirlenmiş, hem sensör, motor vb. elektronik ekipman seçimleri yapılmış hem de

yazılıma yardımcı olacak işlem sıralarıyla ilgili optimizasyon da sağlanmıştır.

Sistemin tasarım süreci ise yapılan yöntem ile iki ayda tamamlanmıştır. Bu tasarım optimizasyon adımları gerçekleştirilmeden yapılabilecek hatalar sistem gerçeğe devreye alındıktan sonra düzeltilmeye çalışılırsa üç aylık bir süreçte tamamlanabileceği öngörülürse tasarım sürecinde de en az %30 luk bir iyileştirme sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 3.2: Otomasyon hatlarını devreye almada sanal optimizasyonun geleneksel devreye almada farkı

Bu çalışma otomasyon hatlarının tasarımda ve denenmesinde sanal devreye alma konusunun işletmelerin veya üreticilerin verimliliğine katkısı örnek üzerinden araştırılmış gösterilmiştir. Günümüz dijital teknolojilerinden sanal devreye alma, makinelerin dijital ikizi gibi konuların otomasyon hattı imalatçılarına sağlayabileceği faydalar ortaya konmuştur. Hatların programlanıp denenmesinin sağlanabileceği yazılımlarda tasarımlar üzerinde denenebilecek şekilde tasarım konusuna yenilikçi bir bakış açısı kazandırabilecektir.

4. Sonuç

Tüm araştırmalar ve çalışma sonucunda otomasyon hatlarının sanal ortamda optimizasyonunun sistem tasarım sürecine, maliyetlere, müşteriye sunuma olumlu etkileri görülmüştür.

Yapılan çalışmalara göre otomasyon hatlarında sanal devreye alma işlemi yapılarak sistemin algoritması, bazı parametreleri ve mekatronik tasarımı optimize edilerek sistemin çevrim süreci 3s'den 2,1s'ye düşürülerek örnek bir hat üzerinde yapılan basit optimizasyon adımlarıyla sistemde %30 luk bir verimlilik artışı sağlayabileceği gözlemlenmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma FYL-2020-10097 numaralı Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAPKO) Lisansüstü Tez Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- Blaschke, S. (2017). Leading plant and process automation firm uses Mechatronics Concept Designer to develop flexible packaging machines for the cosmetics industry . Siemens.
- Blaschke, S. (2017). *Mechatronics Concept Designer offers huge time savings in the design of machines and systems*. 08 18, 2020 tarihinde <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/festo/17518/>. adresinden alındı
- Braun, V. (tarih yok). *www.cadenas.de*. 2020 tarihinde alındı
- Çilek, A. (2005). PLC ile Endüstriyel Otomasyon Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enst., Ankara, Türkiye.
- Groover, M. (2001). *Automation Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson Education: New York.
- Henning, K. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. *Plattform Industrie 4.0*.
- Herbus, K., Ociepa, P., & Gwiazda, A. (2017). Designing of a technological line in the context of controlling with the use of integration of the virtual controller with the mechatronics concept designer module of the PLM Siemens NX software. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 227-235.
- Karcı, H. (2001). Tasarımda Kontrol Tekniğinin Yönlendirici Etkisi. 2. *Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi* (s. 73-80). İzmir: MMO.
- Puntel-Schmidt, P., & Fay, A. (2015). Levels of detail and appropriate model types for virtual commissioning in manufacturing engineering. *IFAC-PapersOnLine*, 48(1), 922-927.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 536-541.



Bioinformatic Analysis of Human Collagen Sequence Mutations on Osteogenesis Imperfecta

Gülsüm Tıraş¹, Esmâ Eryılmaz Doğan^{2*}

¹Selçuk University, Institute of Natural Sciences, Program of Biomedical Engineering, Konya/Turkey, (ORCID ID 0000-0001-8658-6580), gulsum-6342@outlook.com

²Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Biomedical Engineering, Konya/Turkey, (ORCID ID 0000-0001-6809-7513), eeryilmaz@selcuk.edu.tr
Email of the corresponding author

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1026083)

ATIF/REFERENCE: Tıraş G., & Eryılmaz Dogan, E., (2021). Bioinformatic Analysis of Human Collagen Sequence Mutations on Osteogenesis Imperfecta. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1540-1544.

Abstract

Collagen has been implicated in a number of pathological conditions. When an amino acid in triple helix is replaced with other amino acids, the collagen structure is destroyed. The deterioration in the collagen structure causes various hereditary diseases and dysfunctions. In this study, the mutations on the alpha-1 chain of type I collagen, which is the most common in the human body, were examined using Python programming language. Based on the previous studies, brittle bone disease (OI) type 2 caused by mutations in type-I collagen alpha-1 chains, has been focused on. UniprotKB database were used for the mutations reported. The mutations obtained were combined in an alpha-I chain and it was seen that the most mutated amino acid was glycine (Gly). Since glycine amino acid affects the stability of the helix structure of the collagen alpha-I chain, it can be considered to influence collagen-induced diseases. The most frequently recurring mutations (glycine (G)> arginine (R), glycine (G)> serine (S), glycine (G)>aspartate (D)) were detected. As a result of comparison, increase in molecular mass, change in isoelectric point, decrease in hydrophathy index, change in charge state and acid-base properties were observed. The effect of these changed features on brittle bone disease (OI) has been interpreted.

Keywords: Alpha-1 chain, Collagen, Extracellular matrix, Osteogenesis imperfecta, Python

* Corresponding Author: eeryilmaz@selcuk.edu.tr

1. Introduction

The human body is a perfect organism that has a complex structure but contains systems that work in harmony. The systems in the body work in connection with each other so that a person can live a healthy life. Each of them has a separate task and these tasks continue continuously within the system. The cell is the smallest part of the living thing in terms of structure and function. Protein, on the other hand, is an important building block in every cell in the human body. It is the most abundant substance in the body after water.

Collagen is an important protein found in large numbers in the human body. It is an important component of our skin, connective tissue, tendons, joints, nails, teeth, hair, cartilage, and bone. Collagen has many critical functions in our body. It is a type of protein found in human tissues and formed by fibroblasts. Its main task is to strengthen the connective tissue and maintain the integrity of our body. Providing elasticity and firmness to the skin, keeping our tasks.

Collagen is biocompatible and safe due to its various properties such as biodegradability, weak antigenicity, and self-assembly. Collagen can form fibers with extra strength and stability by self-assembly and cross-linking. It is a biomaterial frequently used in medical applications. Various diseases may occur as a result of change in the structure of collagen and mutations in genes encoding collagen. For this reason, it is necessary to better analyze collagen in the molecular level. Based on this information, research has been done on the mutation in collagen genes and the diseases that occur as a result. In this study, we investigated the change in physical properties and the number of amino acids following mutations in the structure of collagen. In our study, it is aimed to interpret the effect of mutations on collagen-borne diseases by interpreting the physical properties that change resulting of mutation by using Python programming language. For this purpose, mutations obtained from previous studies recorded in the database were used. Using the known physical properties of amino acids, it was evaluated that the change resulting from mutation could influence the disease. The number of amino acids with the most mutations was calculated by examining all the obtained mutations.

2. Material and Method

2.1. Collagen Molecule

Collagen is the protein that forms the building blocks of the movement system, especially bones, cartilage, fibers, and joints. The main molecule of collagen is tropocollagen. Tropocollagenes are composed of procollagen produced inside the cell. Collagens are complex protein structures belonging to a large family of 28 members in humans. They form a triple helix with three different polypeptide chains commonly known as alpha chains. It has also been found that this triple helix has a unique "Gly-Xaa-Yaa" sequence repeat. The presence of glycine (Gly) in each sequence explains the stability of the helix due to its feature of being the smallest amino acid. Xaa and Yaa can be any amino acid but are mostly proline. Therefore, collagen is known to be a protein rich in glycine and proline [1]. The structure of collagen is shown in Figure 1.

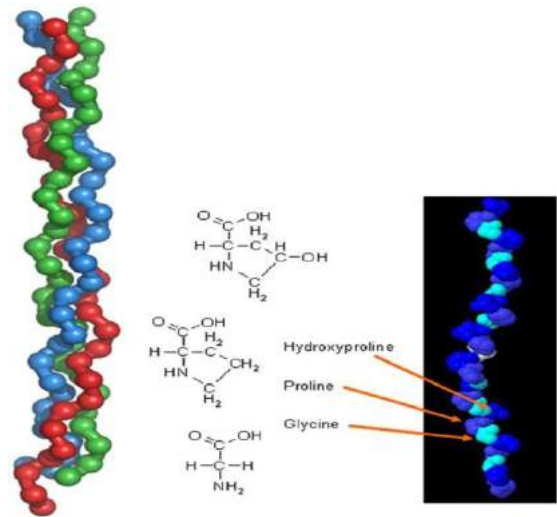


Fig. 1 The structure of collagen [2].

Collagen is one of the most abundant proteins in the human body. It is classified according to its structure. The common types are called fibril-forming collagen; among these, type I, type II, type III, type V, and type XI are found most often in body tissue. Where fibril forming collagens is found in the human body;

Type I: It is the most abundant type of collagen. It is usually found in connective tissue such as skin, bone, dermis, ligament, cornea, and tendon.

Type II: It is found in cartilage, embryonic epithelium mesenchymal transitions, corneal epithelium, notochord, nucleus pulposus of intervertebral discs and vitreous body.

Type III: Usually found often with type I collagen in the skin, vessel wall, intestines, and reticular fibers.

Type V: It is mostly found with type I collagen, which is found in bone, lung, cornea, and fetal membranes.

Type XI: Usually type XI and type II collagens coexist in the vitreous body, intervertebral disc, and cartilage [3].

2.1.1. Osteogenesis Imperfecta

Osteogenesis imperfecta (OI) is a genetic disorder of increased bone fragility, low bone mass, and other connective tissue manifestations. Most patients with a clinical diagnosis of osteogenesis defect have a mutation in one of the two genes encoding the alpha chains of collagen type 1 (COL1A1 and COL1A2) [4]. The severity of the disease ranges from mild (OI type I) to perinatally fatal (OI type II) and exhibits both autosomal dominant and recessive inheritance patterns [5].

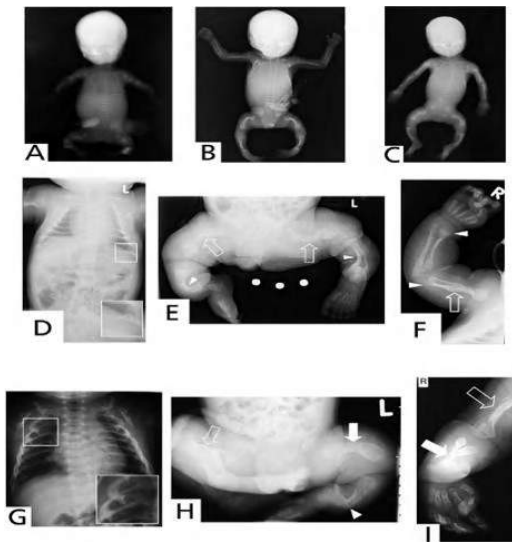


Fig. 2 Radiographs of patients with Osteogenesis imperfecta (OI) due to collagen type I mutations [6].

2.1.2. Python Programming and PyCharm

The type and the count of each amino acid in collagen alpha-1 chain were calculated through the PyCharm text editor using codes written in Python programming language. PyCharm is an integrated development environment used in computer programming specifically for the Python language. Python is an object oriented, interpretative, modular and interactive high level programming language.

2.1.3. UniProtKB/SWISS-PROT

UniProt (<http://www.uniprot.org/>) is a freely accessible protein sequence and functional information database, derived from many introductory genome sequencing projects. It contains a large amount of information about the biological functions of proteins.

2.1.4. Amino Acids

Amino acids, the basic building blocks of proteins are organic compounds containing amine (-NH₂) and carboxyl (-COOH) functional groups and a side chain (R group) specific to each amino acid [7, 8]. The basic elements of an amino acid are carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O), and nitrogen (N), but some amino acids have other elements in their side chains. About 500 naturally occurring amino acids are known (although only 20 appear in the genetic code) and can be classified in many ways [9]. They can be classified according to polarity, pH level and side chain group. The class and the structure of 20 types of amino acids is given in Figure 3.

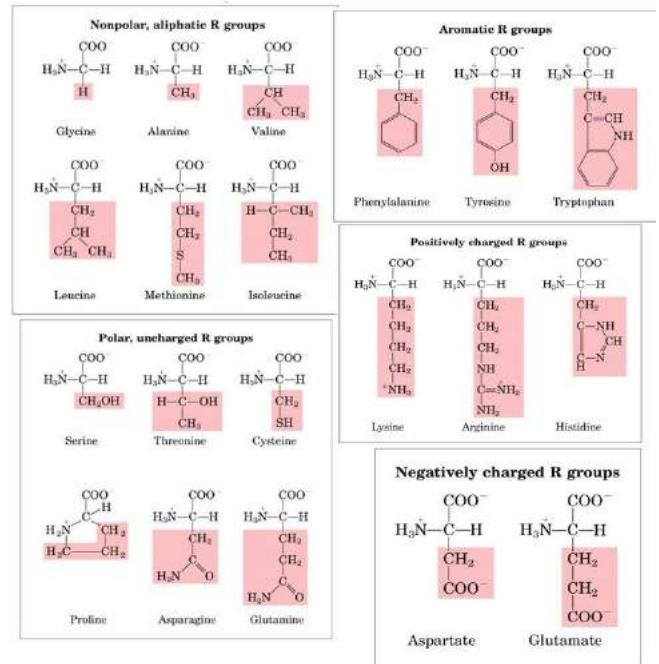


Fig. 3 Structure and classification of amino acids [10].

2.1.5. Isoelectric Point (pI)

The isoelectric point (pI, pH (I), IEP) is the pH at which a molecule carries no net electrical charge or is electrically neutral on the statistical average [11]. Many molecules are zwitterions containing both positive and negative charges. The net charge on the molecule is governed by the pH of the surrounding environment. The isoelectric points of amino acids are given in Table 1.

Table 1 Isoelectric points of amino acids [12].

Amino acids	pI (Isoelectric Point)
Glycine(G)	5,97
Alanine(A)	6,01
Arginine(R)	10,76
Asparagine(N)	5,41
Aspartic acid(D)	2,77
Cysteine(C)	5,07
Glutamic acid(E)	3,22
Glutamine(Q)	5,65
Histidine(H)	7,59
Isoleucine(I)	6,02
Leucine(L)	5,98
Lysine(K)	9,74
Methionine(M)	5,74
Phenylalanine(F)	5,48
Proline(P)	6,48
Serine(S)	5,68
Threonine(T)	5,87
Trptophan(W)	5,89
Tyrosine(Y)	5,66
Valine(V)	5,97

2.1.6. Hydrophathy Index

While hydrophathy (hydrophobicity vs hydrophilicity or lipophilic vs lipophilicity) is generally characterized by numbers from -7.5 to 3.1, hydrophobicity is a measure of how strongly side chains are repelled from water. The more positive the number, the more likely the amino acid residue will not be in an aqueous environment [13].

Table 2 Hydrophathy index values of amino acids [14].

Amino Acid	Hydrophathy Index
Lysine(K)	-3.9
Arginine(R)	-4.5
Histidine(H)	-3.2
Glutamic Acid(E)	-3.5
Glutamine(Q)	-3.5
Aspartic Acid(D)	-3.5
Asparagine(N)	-3.5
Trptophan(W)	-0.9
Tyrosine(Y)	-1.3
Serine(S)	-0.8
Threonine(T)	-0.7
Proline(P)	-1.6
Glycine(G)	-0.4
Alanine(A)	1.8
Methionine(M)	1.9
Cysteine(C)	2.5
Phenylalanine(A)	2.8
Leucine(L)	3.8
Valine(V)	4.2
Isoleucine(I)	4.5

3. Results and Discussion

Analysis of the mutated alpha-1 chains by Python

Collagen-borne diseases have not been investigated in molecular level using a programming language so far. In this study, analysis was made using the alpha-1 chain of Type 1 collagen, which is the most abundant type in our body. In the UniProt database, information is given about the mutated amino acids of collagen-induced diseases in the alpha-1 chain of Type 1 collagen. Osteogenesis imperfecta (OI) type II disease caused mutations mostly in the type 1 collagen alpha-1 chain was reviewed. Therewith, articles in the Uniprot database on OI Type II disease were examined. In the study of Bodian et al., mutations detected in 63 different people were reported [15]. All the mutated amino acids in that study were combined into a single collagen alpha-1 chain in order to calculate the type and frequent of each mutated amino acid. The alpha-1 chain of the collagen obtained from the database in FASTA format with the obtained mutated chain was defined in the PyCharm program. Python code was written to calculate the number of amino acids in both chains. A comparison was made to identify the most mutated amino acid. The most repetitive amino acid changes were detected in mutations obtained from different individuals, and the changes caused by these mutations in the alpha-1 chain were investigated in the molecular terms. Characteristic molecular parameters such as

e-ISSN: 2148-2683

physical properties, molecular weight, hydrophathy index, isoelectric point, and pH were examined, and the contribution of changes in these criteria to intermolecular interactions and their effect on disease formation mechanism were interpreted.

Comparison of the amino acid sequences of the normal and the mutated alpha-I chain

The amino acid sequence in the normal collagen alpha-I chain and the mutated chain were obtained from different people and they were combined in one collagen alpha-I chain. The types and the numbers of each amino acids were calculated using the codes written in the Python programming language with the PyCharm text editor.

As a result of the calculations, it was seen that the highest change was in the number of glycine (G) amino acids, which is the most abundant one in the collagen structure and ensures the stability of the collagen helix structure [16]. The most obvious feature of glycine is that its molecular mass and the volume is the smallest amino acid. Since the excessive number of changes in glycine on the mutated chain, Glycine mutation will affect stability. Osteogenesis is considered as the replacement of glycine by different amino acids in the fragile bone structure formed in Imperfecta disease.

Studying repeated mutations

When looking at the mutations in the study examined, the most recurring mutations were determined as follows: These are aspartic acid (D) instead of glycine (G), arginine (R) instead of glycine (G), serine (S) instead of glycine (G). New alpha-I chains were created separately by selecting some of these mutations. In the alpha-I chain consisting of 1464 amino acids, the mutations of the 353rd row of glycine to aspartic acid, the 614th row of glycine to arginine, and the 884th row of glycine to serine were selected. Alpha-I chains containing mutations and, normal alpha-I chains were defined in FASTA format in PyCharm program, and the average isoelectric (p_i) values and total molecular weights of alpha-I chains were calculated.

As a result of the mutations, the average isoelectric values of the alpha-I chains changed and the total molecular weight decreased. Considering the values that change resulting of a single mutation in the alpha-I chain, it can be said that these changes could have a significant effect on Osteogenesis imperfecta disease.

Comparison of the properties of glycine and amino acids substituted for glycine

In order to examine the changing properties of amino acids replacing glycine as a result of mutations, a table containing the physical properties of amino acids was created, inspired by the work of Nassa et al.

The properties of arginine, aspartic acid, and serine amino acids, which replace glycine, were examined. As a result of the comparison, an increase in molecular mass, change in isoelectric point, reduction in hydrophathy index, were observed a series of changes in charge state and acidic-basic properties. The decrease in the hydrophathy index indicates that the hydrophilic property is increased. It is seen that the amino acids replaced by uncharged glycine, aspartic acid (D), arginine (R), serine (S) are charged molecules. Since these changes affect the alpha-I chain structure, it is thought that the deterioration in the structure is related to Osteogenesis imperfecta disease.

One of the main goals of genome sequencing projects is to provide a better understanding of the genetics of the disease and to help identify the genes associated with the disease [17, 18]. Similar to our study, Flier et al. When his study was examined, it was observed that mutations in Type I procollagen genes caused osteoarthritis and osteoporosis, and the mutations in Type III procollagen genes caused aortic aneurysm. But while they are now convinced that the hypothesis they tested applies to some common diseases in which tissues are broken down, it is unclear how many millions of people with osteoporosis, osteoarthritis, or aortic aneurysm have mutations in their collagen genes [19]. Therefore, with advances in computational technology, it seems reasonable to expect such genetic and sequential analysis to be available at the point of diagnosis and treatment soon.

4. Conclusions and Recommendations

In this study, changed properties were observed as a result of the mutation of a single amino acid in the collagen alpha-I chain with the calculations made and the properties examined. These properties affect the stability, charge status, hydrophilicity, molecular mass, isoelectric point, acidic-basic properties of the entire alpha-I chain. When repeated mutations were examined, it was observed that amino acids substituting glycine were loaded, and that decreased hydrophathy index, increased hydrophilic property, increased molecular mass, and changed isoelectric point and acidic basic properties. In addition, when looking at all mutations, it is meaningful that the most change occurs in the glycine amino acid. It is understood that the fragile bone structure, most prominent feature of patients with osteogenesis imperfecta, is that glycine, which provides stability and strength in the collagen structure, is replaced by different amino acids by mutations. Since the most obvious feature of glycine, which provides the stability of the collagen helix structure, is its molecular mass and therefore having the smallest amino acid volume. these changes are thought to cause Osteogenesis imperfecta, also known as glass bone disease.

Recommendations

When the molecular level studies of collagen in the literature are examined, it is seen that although there are sufficient number of experimental studies, theoretical computational studies are quite limited and inadequate. However, with the rapid development of computer technologies and programming in recent years, it is possible to contribute to the detailed analysis of the collagen family at the molecular level, by bioinformatics studies in addition to experimental studies. In addition, disruptions in the collagen structure led to different diseases and dysfunctions. Osteogenesis imperfecta is only one of these diseases. In this study, only Osteogenesis imperfecta type II, which is the most severe and fatal version of the disease, has been focused on. This approach can be applied in different types of the disease. Different bioinformatic analysis can be performed by detecting mutations in other types of osteogenesis imperfecta and different diseases originating from collagen.

References

1. Cen, L., et al., *Collagen tissue engineering: development of novel biomaterials and applications*. Pediatric research, 2008. **63**(5): p. 492-496.
2. Ileana, R. and K. Francois, *Biopolymers for application in photonics*. NBI-technologies, 2014(4).

3. Gelse, K., E. Pöschl, and T. Aigner, *Collagens—structure, function, and biosynthesis*. Advanced drug delivery reviews, 2003. **55**(12): p. 1531-1546.
4. Rauch, F. and F.H. Glorieux, *Osteogenesis imperfecta*. The Lancet, 2004. **363**(9418): p. 1377-1385.
5. Bodian, D.L., et al., *Predicting the clinical lethality of osteogenesis imperfecta from collagen glycine mutations*. Biochemistry, 2008. **47**(19): p. 5424-5432.
6. van Dijk, F.S., et al., *Lethal/severe osteogenesis imperfecta in a large family: a novel homozygous LEPRE1 mutation and bone histological findings*. Pediatric and Developmental Pathology, 2011. **14**(3): p. 228-234.
7. Arjadi, R., et al., *A systematic review of online interventions for mental health in low and middle income countries: a neglected field*. Global Mental Health, 2015. **2**.
8. Bahadıroğlu, S., et al., *ORGANİZMAMIZ İÇİN NİASİN*.
9. Wagner, I. and H. Musso, *New naturally occurring amino acids*. Angewandte Chemie International Edition in English, 1983. **22**(11): p. 816-828.
10. Aryal, S., *Amino Acids- Properties, Structure, Classification and Functions*. August 9, 2018.
11. Fforde, A., *From plan to market: The economic transition in Vietnam*. 2019: Routledge.
12. Idrees, M., et al., *Multimodal role of amino acids in microbial control and drug development*. Antibiotics, 2020. **9**(6): p. 330.
13. Biro, J., *Amino acid size, charge, hydrophathy indices and matrices for protein structure analysis*. Theoretical Biology and Medical Modelling, 2006. **3**(1): p. 15.
14. Mitaku, S., T. Hirokawa, and T. Tsuji, *Amphiphilicity index of polar amino acids as an aid in the characterization of amino acid preference at membrane–water interfaces*. Bioinformatics, 2002. **18**(4): p. 608-616.
15. Bodian, D.L., et al., *Mutation and polymorphism spectrum in osteogenesis imperfecta type II: implications for genotype–phenotype relationships*. Human molecular genetics, 2009. **18**(3): p. 463-471.
16. Nassa, M., et al., *Analysis of human collagen sequences*. Bioinformation, 2012. **8**(1): p. 26.
17. Green, E.D., *The human genome project and its impact on the study of human disease*. The genetic basis of human cancer, 1997: p. 33-64.
18. Lander, E.S., et al., *Erratum: Initial sequencing and analysis of the human genome: International Human Genome Sequencing Consortium (Nature (2001) 409 (860-921))*. Nature, 2001. **412**(6846): p. 565-566.
19. Prockop, D.J., *Mutations in collagen genes as a cause of connective-tissue diseases*. New England Journal of Medicine, 1992. **326**(8): p. 540-546.